Fisheries and Oceans Canada | Pêches et Océans Canada
Science | Sciences

CSAS | SCCS

Canadian Science Advisory Secretariat | Secrétariat canadien de consultation scientifique

Proceedings Series 2008/007 | Compte rendu 2008/007

National Workshop on Modelling Tools for Ecosystem Approaches to Management

22-25 October 2007
Harbour Towers Hotel & Suites
Victoria, British Columbia
Canada

Alida Bundy, Ghislain Chouinard, Daniel Duplisea, Glen Jamieson, Mariano Koen-Alonso, Marten Koops, Jake Rice, and Laura Richards

Bedford Institute of Oceanography
1 Challenger Drive, P.O. Box 1006
Dartmouth, Nova Scotia
B2Y 4A2

May 2008

Atelier national sur les outils de modélisation pour les approches de gestion écosystémiques

Du 22 au 25 octobre 2007
Harbour Towers Hotel & Suites
Victoria (Colombie-Britannique)
Canada

Alida Bundy, Ghislain Chouinard, Daniel Duplisea, Glen Jamieson, Mariano Koen-Alonso, Marten Koops, Jake Rice et Laura Richards

Institut océanographique de Bedford
1, promenade Challenger, C.P. 1006
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
B2Y 4A2

mai 2008

Canada

Foreword

The purpose of these Proceedings is to document the activities and key discussions of the meeting. The Proceedings include research recommendations, uncertainties, and the rationale for decisions made by the meeting. Proceedings also document when data, analyses, or interpretations were reviewed and rejected on scientific grounds, including the reason(s) for rejection. As such, interpretations and opinions presented in this report individually may be factually incorrect or misleading, but are included to record as faithfully as possible what was considered at the meeting. No statements are to be taken as reflecting the conclusions of the meeting unless they are clearly identified as such. Moreover, further review may result in a change of conclusions where additional information was identified as relevant to the topics being considered, but not available in the timeframe of the meeting. In the rare case when there are formal dissenting views, these are also archived as Annexes to the Proceedings.

Avant-propos

Le présent compte rendu a pour but de documenter les principales activités et discussions qui ont eu lieu au cours de la réunion. Il contient des recommandations sur les recherches à effectuer, traite des incertitudes et expose les motifs ayant mené à la prise de décisions pendant la réunion. En outre, il fait état de données, d'analyses ou d'interprétations passées en revue et rejetées pour des raisons scientifiques, en donnant la raison du rejet. Bien que les interprétations et les opinions contenues dans le présent rapport puissent être inexactes ou propres à induire en erreur, elles sont quand même reproduites aussi fidèlement que possible afin de refléter les échanges tenus au cours de la réunion. Ainsi, aucune partie de ce rapport ne doit être considérée en tant que reflet des conclusions de la réunion, à moins d'indication précise en ce sens. De plus, un examen ultérieur de la question pourrait entraîner des changements aux conclusions, notamment si l'information supplémentaire pertinente, non disponible au moment de la réunion, est fournie par la suite. Finalement, dans les rares cas où des opinions divergentes sont exprimées officiellement, celles-ci sont également consignées dans les annexes du compte rendu.

National Workshop on Modelling Tools for Ecosystem Approaches to Management

22-25 October 2007
Harbour Towers Hotel & Suites
Victoria, British Columbia
Canada

Alida Bundy, Ghislain Chouinard, Daniel Duplisea, Glen Jamieson, Mariano Koen-Alonso, Marten Koops, Jake Rice, and Laura Richards

Bedford Institute of Oceanography
1 Challenger Drive, P.O. Box 1006
Dartmouth, Nova Scotia
B2Y 4A2

May 2008

Atelier national sur les outils de modélisation pour les approches de gestion écosystémiques

Du 22 au 25 octobre 2007
Harbour Towers Hotel & Suites
Victoria (Colombie-Britannique)
Canada

Alida Bundy, Ghislain Chouinard, Daniel Duplisea, Glen Jamieson, Mariano Koen-Alonso, Marten Koops, Jake Rice et Laura Richards

Institut océanographique de Bedford
1, promenade Challenger, C.P. 1006
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
B2Y 4A2

mai 2008

© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2008
© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2008

ISSN 1701-1272 (Printed / Imprimé)

Published and available free from:
Une publication gratuite de :

Fisheries and Oceans Canada / Pêches et Océans Canada
Canadian Science Advisory Secretariat / Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent Street
Ottawa, Ontario
K1A 0E6

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas/

CSAS@DFO-MPO.GC.CA

Printed on recycled paper.
Imprimé sur papier recyclé.

Correct citation for this publication:
On doit citer cette publication comme suit :

DFO. 2008. National Workshop on Modelling Tools for Ecosystem Approaches to Management; 22-25 October 2007. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2008/007.

MPO. 2008. Atelier national sur les outils de modélisation pour les approches de gestion écosystémiques, du 22 au 25 octobre 2007. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Compte rendu 2008/007.

TABLE OF CONTENTS

SUMMARY v

INTRODUCTION 1

INTRODUCTORY PRESENTATIONS 3

Current "Ecosystem Modelling" Within DFO Science 3
Discussion *6*

MSE Theory and Application: Ruminations of a Blind Archeologist 7

Summary of FAO Modelling Ecosystem Interactions for Informing an Ecosystem Approach to Fisheries: Best Practices in Ecosystem Modelling Workshop (Italy, 2007) 9
Discussion *13*

Summary of NMFS National Ecosystem Modelling Workshop (NEMoW, Santa Cruz, August 29-31, 2007) 14
Discussion *15*

MODELLING PRESENTATIONS AND BREAK-OUT GROUP DISCUSSIONS 17

Extended Single Species Assessment Models (ESAM) – 1 17
Discussion *17*

Extended Single Species Assessment Models (ESAM) – 2 17
Break-Out Group Discussion – ESAM *18*

Multi-species Models and Minimal Realistic Models 20
Discussion *24*
Break-Out Group Discussion – MRMs *24*

MSVPA 26
Discussion *28*
Break-Out Group Discussion – MSVPA Models *29*

OSMOSE (Object-oriented Simulator of Marine ecOSystems Exploitation) 31
Discussion *32*
Break-Out Group Discussion – OSMOSE *33*

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE v

INTRODUCTION 1

COMMUNICATIONS 3

Modélisation d'écosystème à Sciences – MPO 3
Discussion *6*

Théorie et application de l'ESG : Réflexions d'un archéologue aveugle 7

Résumé de l'ateleir de la FAO sur les meilleures pratiques de modélisation d'écosystème pour guider une approche de gestion écosystémique (Italie, 2007) 9
Discussion *13*

Résumé de l'atelier national du NMFS sur la modélisation d'écosystème (NEMoW, Santa Cruz, 29-31 août 2007) 14
Discussion *15*

PRÉSENTATIONS SUR LA MODÉLISATION ET DISCUSSIONS EN PETITS GROUPES 17

Modèles élargis pour l'évaluation d'une espèce (ESAM) - 1 17
Discussion *17*

Modèles élargis pour l'évaluation d'une espèce (ESAM) - 2 17
Discussion en petits groups - ESAM *18*

Modèles d'espèces multiples et modèles réalistes minimaux 20
Discussion *24*
Discussion en petits groupes - MRM *24*

MSVPA 26
Discussion *28*
Discussion en petits groupes – MSVPA modèles *29*

OSMOSE (Object-oriented Simulator of Marine ecOSystems Exploitation) 31
Discussion *32*
Discussion en petits groupes - OSMOSE *33*

Bioenergetic Models for Ecosystem-Based Management 35
Discussion 38
Break-Out Group Discussion – Bioenergetic-Allometric Models 39

Size-Based Ecosystem Models 41
Discussion 42
Break-Out Group Discussion – Size-based Models 44

Aggregate Biomass Models 46
Discussion 50
Break-Out Group Discussion – Aggregate Biomass Models 51

Ecosystem Models: Ecopath with Ecosim 6 52
Discussion 56
Break-Out Group Discussion – Ecopath with Ecosim 57

Atlantis Modelling Framework 59
Discussion 63
Break-Out Group Discussion – Atlantis 64

Break-Out Group Discussion – What's Missing? 67

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS 70

About Ecosystem Models and their Role in Research and Support for Management 70

The Status of Ecosystem Modelling in DFO 73

Short-Term Actions 76

Bibliography and References 77

ANNEX 1 – TERMS OF REFERENCE 81

ANNEX 2 – AGENDA 83

ANNEX 3 – LIST OF PARTICIPANTS 86

ANNEX 4 - KEY MANAGEMENT QUESTIONS FOR PRESENTERS 87

ANNEX 5 – BREAK-OUT GROUP QUESTIONS 89

Modèles bioénergétiques pour la gestion écosystémique 35
Discussion 38
Discussion en petits groupes / Modèles bioénergétiques allométriques 39

Modèles d'écosystème centrés sur la taille 41
Discussion 42
Discussion en petits groupes – Modèles centrés sur la taille 44

Modèles de la biomasse globale 46
Discussion 50
Discussion en petits groupes – Modèles de la biomasse globale 51

Modèles d'écosystème – Ecopath–Ecosim 6 52
Discussion 56
Discussion en petits groupes Ecopath-Ecosim 57

Cadre de modélisation Atlantis 59
Discussion 63
Discussion en petits groupes - Atlantis 64

Discussion en petits groupes – Que manque-t-il? 67

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 70

Au sujet des modèles d'écosystème et de leur rôle dans la recherche et en appui de la gestion 70

État de la modélisation d'écosystème au MPO 73

Mesures à court terme 76

Bibliographie et références 77

ANNEXE 1 – REMIT 81

ANNEXE 2 – ORDRE DE JOUR 83

ANNEXE 3 – LISTE DES PARTICIPANTS 86

ANNEXE 4 – QUESTIONS CLÉS POUR LA GESTION POUR LES CONFÉRENCIERS 87

ANNEXE 5 – QUESTIONS À RÉPONDRE EN PETITS GROUPES 89

SUMMARY

A National workshop on modeling tools in support of ecosystem approaches to management was held in Victoria, BC, in October 22-25, 2007. Its main objectives were to discuss and evaluate different ecosystem modeling approaches and to explore their suitability in the Canadian and DFO context. Scientists from all regions, fisheries managers and international experts participated in the workshop. The workshop included an overview of the current use of ecosystem models in DFO, a series of presentations by ecosystem modelling experts of methods in use globally and in-depth discussions during breakout groups and plenary sessions. This report summarises the presentations and discussions, evaluates the questions that can be addressed by different ecosystem modelling approaches, highlights the essential role of ecosystem modeling for developing strategic advice and provides conclusions and recommendations to further develop ecosystem modelling and ecosystem approaches to management in DFO. It concludes with a summary of recommended actions, including suggestions of where efforts could be directed to provide strategic advice over the next one to two years.

SOMMAIRE

Un atelier national sur les outils de modélisation d'aide aux approches écosystémiques de la gestion s'est tenu à Victoria (C.-B.) du 22 au 25 octobre 2007. Ses principaux objectifs étaient d'examiner et d'évaluer différentes approches de modélisation écosystémique, et de considérer leur pertinence dans le contexte canadien et de celui du MPO. Des scientifiques de toutes les régions, des gestionnaires et des experts internationaux des pêches ont participé à l'atelier, qui comprenait un aperçu général des modèles écosystémiques utilisés actuellement au MPO, une série de présentations offertes par des experts en modélisation écosystémique sur les méthodes en usage dans le monde et des discussions approfondies lors des séances de groupes de travail et des sessions plénières. Le présent rapport résume les présentations et discussions, évalue les questions pouvant être traitées par différentes approches de modélisation écosystémique, met en évidence le rôle essentiel de la modélisation écosystémique dans la formulation des conseils stratégiques et fournit les conclusions et recommandations en vue d'améliorer davantage la modélisation écosystémique et des approches écosystémiques de la gestion en usage au MPO. Le rapport prend fin avec un résumé des mesures recommandées, notamment des suggestions concernant les aspects sur lesquels les efforts pourraient être mis afin d'offrir des conseils stratégiques pour les deux prochaines années.

INTRODUCTION

Canada has made commitments to approach the management of its natural ecosystems and human activities in a manner respectful of the integrity and viability of its ecosystems. Such an approach requires knowledge about the variety of ecosystems and their structure and function particularly their sensitivity to human activities. In response to these commitments DFO Science has initiated and engaged in research and monitoring to inform this process. These efforts are being undertaken to address regional concerns. While progress is being made in Canada, other countries are also progressing towards an ecosystem approach to management (EAM). Much can be learned from the successes and challenges others have experienced. It is now timely for DFO to evaluate the relative merits of these initiatives to determine if they have utility to departmental needs. These approaches can most effectively be communicated through direct interaction owing to their complexity and rapid evolution. To this end, EcoNet (DFO's Ecosystem Modelling Network), with the endorsement of NSDC, held a workshop to evaluate different ecosystem modelling approaches and to explore how to begin implementing these methods in the Canadian and DFO context.

In developing the Agenda for this workshop (Annex 2) we tried to cover the scope of different modelling methods used in ecosystem approaches to management and to evaluate their potential use in management strategy evaluation (MSE). Experts in ecosystem modelling were invited from Canada, Europe, Australia and the US to review their modelling approaches (see Annex 3 for a list of participants). In each case they were asked to give an overview of the method, including an outline of data requirements, assumptions and limitations, and to address key management questions (Annex 4).

The workshop began with a series of introductory and overview papers. The first two papers reviewed progress within Canada in Ecosystem Modelling and Management Strategy Evaluation. This was followed by two invited presentations which summarized recent international developments in ecosystem modelling. The first summarized the FAO (Food and Agricultural Organisation) Modelling Ecosystem Interactions for Informing an Ecosystem Approach to

INTRODUCTION

Le Canada s'est engagé à gérer ses écosystèmes naturels et les activités qui y sont menées d'une façon respectueuse de l'intégrité et de la viabilité de ceux-ci. Une telle approche requiert des connaissances sur la diversité des écosystèmes, ainsi que sur leur structure et leur fonction, en particulier leur sensibilité aux activités humaines. En réponse à cet engagement, le secteur des Sciences du MPO a lancé des activités de recherche et de surveillance en vue de guider le processus et de répondre aux préoccupations régionales. Le Canada, comme d'autre pays, fait des progrès au chapitre de l'approche de gestion écosystémique. Des leçons peuvent être tirées des défis et des succès des autres. Le moment est bien choisi pour le MPO d'évaluer les mérites relatifs des approches de modélisation d'écosystème pour établir si elles permettraient de satisfaire aux besoins du Ministère. En raison de leur complexité et du fait qu'elles évoluent rapidement, leur communication, pour être efficace, doit être directe. EcoNet (Réseau de modélisation d'écosystème du MPO), avec l'appui du CNDS, a donc tenu un atelier d'évaluation de divers outils de modélisation en vue d'établir comment les appliquer dans le contexte canadien et ministériel.

À l'établissement de l'ordre du jour de l'atelier (Annexe 2), nous avons essayé de couvrir la portée de divers outils de modélisation utilisés dans les approches de gestion écosystémiques et d'évaluer leur utilité potentielle au chapitre de l'évaluation de stratégie de gestion (ESG). Nous avons donc invité des spécialistes du Canada, de l'Europe, de l'Australie et des États-Unis pour exposer leurs approches de modélisation (voir l'Annexe 3 pour la liste des participants). Nous avons demandé à chacun de donner un aperçu de leur méthode, y compris un survol des besoins en données, des hypothèses et des limites, et de répondre aux questions de gestion clés (Annexe 4).

L'atelier débute par la présentation d'une série d'études préliminaires et d'aperçus. Les deux premières communications portent sur les progrès réalisés au Canada au chapitre de la modélisation d'écosystème et de l'évaluation de stratégies de gestion. Les deux communications suivantes, sollicitées, sont des résumés des récents progrès réalisés en modélisation d'écosystème à travers le monde. La première est un résumé de l'atelier de la FAO (Organisation des Nations Unies pour

Fisheries: Best Practices in Ecosystem Modelling Workshop (Italy, 2007), while the second summarized the NMFS (National Marine Fisheries Service) National Ecosystem Modelling Workshop (NEMoW, Santa Cruz, August 29-31, 2007). The next 1.5 days were spent reviewing and discussing some of the main ecosystem modelling approaches in use. The workshop was structured to provide adequate time for the presentations to give a full overview of the approach and applications of the methods, and for in-depth discussion during breakout groups. A series of questions was used to frame these discussions (Annex 5).

This report provides the deliverables from the workshop including the following:

1. Evaluation of alternative ecosystem modelling approaches for MSE.

2. Recommendations on modelling tools that Canada could adopt to further operationalise ecosystem approaches to management, based on the experiences of other countries.

3. Development of a proposal to undertake appropriate modelling in support of EAM needs in DFO based on the workshop recommendations.

4. Produce a DFO Proceedings Report.

This proceedings provides brief summaries of the presentations and associated discussions, together with the in-depth discussions from the break-out groups, followed by a series of conclusions proposed by EcoNet.

l'agriculture et l'alimentation) sur les meilleures pratiques de modélisation des interactions écosystémiques (Italie, 2007) et la seconde, un résumé de l'atelier national du NMFS (National Marine Fisheries Service) sur la modélisation d'écosystème (NEMoW, Santa Cruz, du 29 au 31 août 2007). La journée et demi suivante est consacrée à l'étude et à la discussion de certaines des principales approches de modélisation d'écosystème en usage. L'atelier est structuré de sorte à pouvoir faire un plein survol des approches et de leurs applications, et d'en discuter en petits groupes. Une liste de questions a été dressée pour orienter ces discussions (Annexe 5).

Le présent rapport fait état des résultats de l'atelier, y compris :

1. une évaluation d'approches de rechange pour la modélisation d'écosystèmes pour faire une ESG

2. des recommandations, en regard de l'acquis d'autres pays, au chapitre d'outils de modélisation que le Canada pourrait adopter pour opérationnaliser davantage les approches de gestion écosystémiques;

3. une proposition d'entreprendre des travaux de modélisation appropriés en appui des besoins du MPO en matière d'AGE fondée sur les recommandations de l'atelier; et

4. un compte rendu de l'atelier.

Le présent compte rendu fournit de brefs résumés des présentations et des discussions connexes, ainsi que des discussions en petits groupes et des conclusions formulées par EcoNet.

INTRODUCTORY PRESENTATIONS

Current "Ecosystem Modelling" Within DFO Science

Jake Rice, DFO, Science, Ottawa

All regions were asked to report on the ecosystem modelling activities in DFO Science and with partners, in their region. Reports were incomplete from all regions, but the input is tabulated both by regions and by ecological themes.

The ecosystem modelling by Region is:

Newfoundland:

- Mass-balance (Ecopath with Ecosim; EwE) Newfoundland Shelf pre-1990 and post 1990
- Size-based (energetic/allometric) of southern Grand Banks
- Transport and production of *Calanus*
- Seasonal and decadal responses of primary production to climate and oceanography
- Management Strategy Evaluation for Greenland halibut on Newfoundland Labrador Shelf

Maritimes

- Impacts of seal predation on fish population dynamics
- Comparative structure and dynamics of NW Atlantic Ecosystems (EwE)
- Dynamics of ecosystem change of Scotian Shelf
- Comparative dynamics of ecosystem change in response to climate and fishing
- Transport & risk analysis of routes for ballast water exchange routes
- Age-specific consumption models (cod and haddock) regime & age-specific production models "
- Multi-species models of population dynamics including predation and productivity forcers for Scotian Shelf
- Seasonal to interannual variability in NW Atlantic shelf plankton ecosystems
- Impacts of climate change and variability on the NW Atlantic deep ocean plankton

COMMUNICATIONS

Modélisation d'écosystème à Sciences - MPO

Jake Rice, Sciences - MPO, Ottawa

M. Rice demande aux représentants régionaux de Sciences – MPO d'identifier les activités de modélisation d'écosystème menées dans leur région par le secteur ou avec des partenaires. La liste ci-dessous, par région et par thème, n'est pas exhaustive.

Voici les activités de modélisation par région :

Terre-Neuve

- Modèle du bilan massique (Ecopath-Ecosim; EwE) du plateau de Terre-Neuve avant et après 1990
- Modèle fondé sur des facteurs de taille (énergétiques et allométriques) pour le sud des Grands bancs
- Transport et production de *Calanus*
- Réactions saisonnières et décennales de la production primaire aux conditions climatiques et océanographiques
- Évaluation des stratégies de gestion pour le flétan noir du plateau de Terre-Neuve et du Labrador

Maritimes

- Impacts de la prédation exercée par les phoques sur la dynamique des populations de poissons
- Structure et dynamique comparées des écosystèmes dans l'Atlantique Nord-Ouest (EwE)
- Dynamique de la modification de l'écosystème du plateau néo-écossais
- Dynamique comparée de la modification de l'écosystème en réponse au climat et à la pêche
- Transport et analyse du risque pour les trajets d'échange d'eau de lest
- Modèles de consommation (morue et aiglefin) et de production selon l'âge
- Modèles de la dynamique des populations d'espèces multiples du plateau néo-écossais, y compris la prédation et les moteurs de la productivité
- Variabilité saisonnière et interannuelle des écosystèmes planctoniques du plateau de l'Atlantique Nord-Ouest
- Impacts du changement et de la variabilité du climat sur les écosystèmes planctoniques des

ecosystems (e.g. Labrador Sea)

Gulf

- Mass-balance model (EwE) for Southern Gulf of St. Lawrence
- Population dynamics of cod, winter skate, herring and snow crab relative to marine environmental covariated
- Impacts of environmental change and direct and indirect harvesting effects on the dynamics of the marine fish community in the southern Gulf of St. Lawrence
- Biogeochemical modelling in the Gulf of St. Lawrence and Eastern Scotian Shelf
- Transport/ocean physics effects on early life history stages of Southern Gulf of St. Lawrence snow crab, lobster, cod, scallop and spread of invasive species

Quebec

- Mass balance model (EwE and inverse) for Northern Gulf of St. Lawrence
- Coupled Cod-seal population-dynamics model for Gulf of St. Lawrence
- Bayesian turbot with environmental forcers (from Newfoundland)
- Prediction of risk of harmful algal bloom outbreaks from ocean physics and chemistry
- Biogeochemical model of Gulf of St. Lawrence productivity with explicit physical/climate forcing (COMDA – Centre for Ocean Model Development and Application)
- Modelling to forecast changes in the oxygen regime in the Gulf of St. Lawrence and the effects these changes may have on ecosystem processes and fisheries resources

Central and Arctic

- Mass-balance modelling (EwE) of Bay of Quinte and Hamilton Harbour to predict impacts of nutrients, productivity and zebra mussel effects
- Lake Ontario & upper St. Lawrence habitat suitability modelling with physical factors for yellow perch, lake trout, Experimental Lakes fish community

grands fonds dans l'Atlantique Nord-Ouest (p. ex. mer du Labrador)

Golfe

- Modèle du bilan massique (EwE) du sud du golfe du Saint-Laurent
- Dynamique des populations de morue, de raie tachetée, de hareng et de crabe des neiges par rapport aux covariables du milieu marin
- Impacts de la modification de l'environnement et effets directs et indirects de la pêche sur la dynamique de la communauté des poissons du sud du golfe du Saint-Laurent
- Modélisation biogéochimique du golfe du Saint-Laurent et de l'est du plateau néo-écossais
- Effets du transport et de la physique océanique sur les premiers stades du cycle vital du crabe des neiges, du homard, de la morue et du pétoncle et sur la propagation des espèces envahissantes dans le sud du golfe du Saint-Laurent

Québec

- Modèle du bilan massique (EwE et inverse) pour le nord du golfe du Saint-Laurent
- Modèle couplé de la dynamique des populations de morue et de phoque pour le golfe du Saint-Laurent
- Modèle bayesien des facteurs environnementaux agissant sur le flétan noir (de Terre-Neuve)
- Prédiction du risque de poussées d'algues nuisibles d'après la physique et la chimie océaniques
- Modèle biogéochimique de la productivité du golfe du Saint-Laurent, y compris le forçage physique et climatique explicite (CDAMO – Centre de développement et d'application de modèles océaniques)
- Modèle de prévision des changements dans le bilan de l'oxygène de l'eau dans le golfe du Saint-Laurent et des effets possibles de ces changements sur les processus éco-systémiques et les ressources halieutiques

Centre et Arctique

- Modélisation du bilan massique (EwE) de la baie de Quinte et du port de Hamilton pour prédire les impacts des éléments nutritifs, de la productivité et de la moule zébrée
- Modélisation de la qualité de l'habitat dans le lac Ontario et le haut Saint-Laurent, y compris des facteurs physiques, pour la perchaude, le touladi et la communauté de poissons de la région des lacs expérimentaux

- CO_2 fluxes, sediment CO_2 production, gas exchange for fish and caged inverts (*Hyallela*)
- Primary & secondary production, benthic meiofauna, chemistry, ichthyoplankton for Mackenzie Shelf

Pacific

- 1-D lower-trophic-level plankton models with climate forcers (Globec and others)
- 3-D lower-trophic-level plankton models with oceanographic forcers (Globec and others)
- Behavioural and oceanographic mechanisms of aggregation of euphausiids at bathymetric edges
- La Perouse models of ocean physics to plankton & fish productivity
- Mass balance models of Hecate Strait ecosystem (EwE)
- Predicting salmon abundance, distribution & survival from oceanographic conditions
- Statistical models of abundance and habitat features of Hecate Strait fish community
- Marine habitat selection (seabed and water column properties) models for Pacific groundfish (?)
- Coastal habitat features to predict herring and invasives

Thematically the modelling comes out as:

- Mass-Balance (EwE) modelling of areas in every region
- Biogeochemical cycle models for some part of all three oceans and the Great Lakes,
- Physical oceanographic modelling focused on population dynamics of specific species primarily in Gulf of St. Lawrence and some in the Pacific
- Physical oceanographic modelling focused on effects of climate forcing on the Atlantic Shelf systems and the Pacific
- Multispecies predator prey modelling primarily in the Newfoundland and Scotian shelves
- Population dynamics modelling with environmental covariates primarily in Gulf but scattered throughout the country
- Population dynamics modelling with habitat quality or quantity as factors primarily in Central and Arctic and Pacific salmon

- Flux du CO_2, production de CO_2 dans les sédiments, échange de gaz chez les poissons et les invertébrés mis en cage (*Hyalella*)
- Production primaire et secondaire, chimie, méiofaune benthique et ichtyoplanton du plateau du Mackenzie

Pacifique

- Modèles unidimensionnels du plancton de niveau trophique inférieur et des facteurs climatiques (Globec et autres)
- Modèles tridimensionnels du plancton de niveau trophique inférieur et des facteurs océanographiques (Globec et autres)
- Mécanismes comportementaux et océanographiques à l'origine de l'agrégation d'euphausiacés
- Modèles La Pérouse de l'effet de la physique océanique sur la productivité du plancton et des poissons
- Modèles du bilan massique de l'écosystème du détroit d'Hécate (EwE)
- Prédiction de l'abondance, de la répartition et de la survie du saumon d'après les conditions océanographiques
- Modèles statistiques de l'abondance et des caractéristiques d'habitat de la communauté de poissons du détroit d'Hécate
- Modèles du choix d'habitat marin (propriétés du plancher océanique et de la colonne d'eau) pour les poissons démersaux du Pacifique (?)
- Caractéristiques de l'habitat côtier – hareng et espèces envahissantes

Voici les modèles ventilés par thème :

- Modélisation du bilan massique (EwE) de secteurs dans toutes les régions
- Modèles biogéochimiques de certaines parties des trois océans et des Grands Lacs
- Modélisation de l'océanographie physique axée sur la dynamique des populations d'espèces données, surtout du golfe du Saint-Laurent et quelques-unes du Pacifique
- Modélisation de l'océanographie physique axée sur les effets du forçage climatique sur les systèmes du plateau de l'Atlantique et le Pacifique
- Modélisation de la relation plurispécifique prédateur-proie, en particulier sur le plateau néo-écossais et le plateau de Terre-Neuve
- Modélisation de la dynamique des populations par rapport à des covariables environnementales, principalement dans le Golfe mais aussi ailleurs au pays
- Modélisation de la dynamique des populations par rapport à la quantité et à la qualité des habitats, principalement dans Centre et

- Statistical models of community structure and dynamics – very little in recent years

The review was augmented by feedback from client sectors of DFO Science, regarding the types of ecosystem science support that they feel they need to do their work within an ecosystem approach. Oceans Management gave high priority to community associations with habitats for MPAs and coastal management, and quantification of "Health of the Ocean". Aquaculture Management gave priority to Ecosystem effects of facilities and carrying capacity of bays etc. Fisheries Management gave highest priority to identification "vulnerable marine ecosystems" (primarily habitat types) and to regime-based management strategies only in a few places. Habitat Management gave high priority to quantification of habitats used by species broadly, particularly for SARA species, and models to predict effects of habitat change on communities and species to support compensation allocations.

Discussion

Q: There seems to be a shift toward what the public perceives as being a need.

A: Yes, there is a change of focus, but it is not driven by public, but by the *Oceans Act* and SARA. These new legislative acts have created the need for new science due to new mandates for DFO.

Q: In Newfoundland, Habitat Management is interested in offshore effects. Is this coming up nationally?
A: Yes, it was covered in what is called habitat quantity and quality. Once you have the tools to identify effects on habitat quantity and quality, you can start to look at cumulative effects.

Q: The identified needs of Fisheries Management seems to be contrary to some international agreements to implement an ecosystem approach. Is fisheries management interested in an ecosystem approach?
A: Yes they are, but they have not expressed interest in the abstract ecosystem properties, but the practical aspects affecting fisheries. Many products of tropho-dynamic models seem to

Arctique et pour le saumon du Pacifique

- Modèles statistiques de la structure et de la dynamique des communautés – très peu a été fait dans les dernières années

Les secteurs clients de Sciences – MPO font des commentaires sur le type de soutien en matière de sciences écosystémiques dont ils ont besoin pour s'acquitter de leur mandat dans le contexte d'une approche écosystémique. Le secteur Gestion des océans accorde une priorité élevée aux associations de communautés et aux habitats aux fins de création de ZPM et de gestion côtière, et à la quantification de « Santé des océans ». Le secteur Gestion de l'aquaculture accorde la priorité aux effets écosystémiques d'installations et à la capacité de charge des baies, etc. Gestion des pêches accorde la priorité la plus élevée à l'identification d'écosystèmes marins vulnérables (types d'habitat) et aux stratégies de gestion centrées sur le régime que dans quelques cas, alors que Gestion de l'habitat accorde une priorité élevée à la quantification des habitats généralement utilisés par les espèces, en particulier les espèces visées par la LEP, et aux modèles de prédiction des effets de la modification d'un habitat sur les communautés et les espèces qui y vivent en appui des allocations compensatoires.

Discussion

Q. Il semble y avoir un changement de cap vers ce que le public considère comme étant un besoin.
R. Oui, il y a un changement d'orientation, mais il n'est pas dicté par le public, mais par la *Loi sur les pêches* et la LEP. Ces nouvelles lois requièrent de nouvelles recherches pour remplir les nouveaux mandats du MPO.

Q. À Terre-Neuve, Gestion de l'habitat s'intéresse aux effets en mer. Est-ce le cas à l'échelle nationale?
R. Oui, ils sont inclus dans l'élément appelé quantité et qualité des habitats. Une fois munis des outils pour identifier les effets sur cet élément, nous pouvons établir les effets cumulatifs.

Q. Les besoins établis de Gestion des pêches semblent incompatibles avec certaines ententes internationales pour la mise en oeuvre d'une approche écosystémique. Une telle approche intéresse-t-elle le secteur?
R. Oui, le secteur s'y intéresse. Mais il n'a pas montré d'intérêt pour les propriétés abstraites d'écosystème. Il s'intéresse plutôt aux aspects pratiques qui agissent sur les pêches. Il semble

move you away from the practical.

Comment - However, there are multiple uses for models. We should look at the broader picture to look at strategic issues for ecosystems, but can also look at tactical properties.

MSE Theory and Application: Ruminations of a Blind Archeologist

Jon Schnute, Scientist Emeritus, DFO Science, Pacific Region

My recent retirement forced me to sift through research detritus in the office that I had occupied for 31 years. I became an archaeologist faced with historical evidence in every file drawer, ring binder, book, pamphlet, and computer file. My career spanned a period of great technological change, when ideas emerged partly because improving computing technology made their implementation possible. I now disagreed with views that I held strongly 10, 20, or 30 years ago. This reminded me of an Asian legend about blind men investigating an elephant and coming to wildly different conclusions about the essential character of the animal. I had uncovered the blind men, and all of them were me!

The phases of my career closely mirror the development of fishery science itself. This history reveals much about the modern concept of MSE and its potential for application in Canada and other countries. The main idea can be applied to a single species or an entire ecosystem, although the implementation becomes more difficult and ambiguous as the dynamic system grows in complexity. Imagine the elephant as an ideal system for managing fisheries, habitats, and all other aspects of the ecosystem. We are all blind to this elephant in the sense that no such management system exists, and probably it never will. Nevertheless, I'll describe six historical attempts by scientists to reveal the true elephant.

1. The *explorer* goes to sea (or other parts of the ecosystem), gathers data, and compiles a record of his adventures.

2. The *novelist* tells a story about the ecosystem. Species and other features become the characters, and they behave

que de nombreux produits des modèles trophodynamiques nous éloignent de l'aspect pratique.

Commentaire – Par contre, les modèles ont de multiples usages. Nous devrions tâcher d'avoir une vue d'ensemble pour identifier les enjeux stratégiques pour les écosystèmes et leurs propriétés tactiques.

Théorie et application de l'ESG : Réflexions d'un archéologue aveugle

Jon Schnute, scientifique émérite,
MPO - Sciences, Région du Pacifique

Ma récente retraite m'a forcé à trier les débris de recherche amoncelés dans mon bureau, que j'ai occupé pendant 31 ans. Je suis devenu un archéologue, fouillant tiroirs de classeur, livres, brochures, fichiers informatiques et classeurs à anneaux débordant de vestiges. Ma carrière s'est étalée sur une période de grands progrès technologiques, pendant laquelle des idées ont vu le jour en partie parce que l'informatique a permis de les appliquer. Aujourd'hui, je ne suis plus d'accord avec des opinions très arrêtées que j'avais il y a de cela 10, 20, 30 ans. Ce qui m'a amené à une légende asiatique d'hommes aveugles étudiant un éléphant et tirant des conclusions absurdement différentes sur le caractère essentiel de l'animal. J'avais démasqué les hommes aveugles, et ils étaient tous moi!

Les étapes de ma carrière reflètent le développement de l'halieutique. Cette légende en révèle long sur le concept moderne de l'ESG et de son application potentielle au Canada et à l'étranger. L'idée principale de l'ESG peut être appliquée à une seule espèce ou à un écosystème entier, bien qu'elle soit plus difficile à appliquer lorsque l'écosystème est complexe. Imaginez que l'éléphant est un système idéal pour gérer les pêches, les habitats et tous les autres aspects de l'écosystème marin. Nous ne voyons pas l'éléphant dans le sens qu'un tel système de gestion n'existe pas et n'existera probablement jamais. Je vais néanmoins décrire six tentatives de découverte du vrai éléphant faites par des scientifiques.

1. L'*explorateur* va en mer (ou dans un autre écosystème), recueille des données et documente ses aventures.

2. Le *romancier* écrit une histoire au sujet de l'écosystème. Les caractéristiques de l'écosystème et les espèces qui y vivent sont

according to a prescribed set of rules. More technically, the *mathematical novelist* invents a complex simulation that belongs to science fiction: science because it operates by precisely known rules, but fiction because nature never follows the comparatively simplistic rules in a simulation. Sometimes, fascinated by an intricate tale, the novelist can start to believe that the story is true and actually reflects nature itself.

3. The *detective*, slightly scornful of the novelist, treats the ecosystem as a mystery to be solved by looking at clues in data collected by the explorer. As in the famous mystery stories, he imagines various scenarios and chooses one that best fits the available data. Technically, he does this by statistical methods, such as maximum likelihood estimation or Bayesian posterior sampling.

4. The *surveyor* thinks that the detective has missed the point because the presumed scenarios, although based on some data, don't imply a strategy for managing the ecosystem. Consequently, he goes a step further by defining reference points in a landscape of possibilities. Management then consists of locating the current position of the ecosystem in this landscape and moving toward an appropriate reference point. A precautionary approach requires staying within safe boundaries.

5. The *architect* finds the surveyor's approach problematic because it depends on a hypothetical world in which those reference points exist and can be measured. Nature might not really work by those rules. Like building design, strategy design depends on working with tested components. If a strategy is like a steel beam, it must be tested to see what load it can bear. Unlike construction materials, however, ecosystems can't be subjected to purely experimental tests, so computer models are used instead to simulate behaviour considered realistic in an ecosystem. If the surveyor proposes a strategy, the architect can submit it to management strategy evaluation (MSE).

les personnages, et ils adhérent à un jeu de règles prescrites. Techniquement parlant, le *romancier mathématicien* invente une simulation complexe qui est de la pure science-fiction : de la science, parce qu'elle suit des règles précises mais de la fiction parce que la nature ne suit jamais les règles comparativement simples d'une simulation. Parfois, fasciné par une histoire complexe, le romancier peut commencer à croire qu'elle est vraie et qu'elle décrit vraiment ce qui se passe dans la nature.

3. Le *détective*, qui méprise un peu le romancier, traite l'écosystème comme une énigme à résoudre et examine les pistes dans les données recueillies par l'explorateur. Il imagine, comme dans les fameuses histoires policières, divers scénarios et choisit celui qui correspond le mieux aux données. Techniquement, il le fait en utilisant des méthodes statistiques, comme l'échantillonnage postérieur bayesien ou la méthode d'estimation de vraisemblance maximale.

4. L'*arpenteur* croit que le détective n'a rien compris, parce que les scénarios présumés, bien que fondés sur des données, supposent qu'il n'y a pas de stratégie de gestion de l'écosystème. Il va donc plus loin et définit des points de référence dans un paysage de possibilités. La gestion consiste donc en l'établissement de la position actuelle de l'écosystème dans ce paysage et l'adoption d'un point de référence approprié. L'approche de prévention exige de rester dans des limites sûres.

5. L'*architecte* est d'avis que l'approche de l'arpenteur est problématique parce qu'elle dépend d'un monde fictif où ces points de référence existent et peuvent être mesurés. La nature n'adhère pas forcément à ces règles. Comme la conception des bâtiments, l'élaboration d'une stratégie fait appel à des composantes éprouvées. Une stratégie peut être comparée à une poutre d'acier; elle doit être mise à l'essai pour voir quelle charge elle peut soutenir. Toutefois, au contraire des matériaux de construction, les écosystèmes ne peuvent pas être soumis à des tests purement expérimentaux. On utilise donc des modèles informatiques pour simuler ce qui ce passe dans un écosystème. Si l'arpenteur propose une stratégie de gestion, l'architecte peut l'évaluer.

6. The *acrobat* thinks that everyone has missed the point by focusing on the ecosystem. In reality, management applies to human activity with only an indirect biological effect. The real secret lies in creating a balance between human self-interests and ecosystem requirements. If a brilliant biological analysis isn't adopted by stakeholders, what purpose did it serve?

MSE has two main components: a management strategy (or suite of strategies) to be tested and an operating model to conduct the testing. In practice, this process involves skills from all of the players mentioned above. The *explorer* must still gather the data needed to implement the policy. The *detective* still needs to conduct the assessments buried within the strategy, and the *surveyor* must convert the results to policy decisions. The *novelist* needs to bring great inventiveness to writing the simulation at the core of the operating modelling, and the *architect* must test proposed strategy designs. Finally, the *acrobat* needs to ensure that the plan will be adopted by the human stakeholders who must put it into practice.

In a workshop like this one, participants will inevitably have very different perceptions of the elephant (i.e., ecosystem management). Nevertheless, in the sense described above, Canada actually does have skilled explorers, novelists, detectives, surveyors, architects, and acrobats. The principle challenge involves bringing these people together in a collective effort. That will happen only if (1) they find the problem interesting and challenging, (2) they agree on common goals and enjoy working collectively, and (3) they have support for their collective efforts.

Summary of FAO Modelling Ecosystem Interactions for Informing an Ecosystem Approach to Fisheries: Best Practices in Ecosystem Modelling Workshop (Italy, 2007)
Elizabeth Fulton, CSIRO, Australia

In the early 1990s – in response to over-exploitation of fish stocks, ecosystem modifications, significant economic losses, and the threat posed to sustainable marine fisheries posed by international conflict regarding management and trade of marine resources – the FAO (in consultation and collaboration with other agencies) developed the concept of responsible fisheries and elaborated a code of conduct. Technological advances and the realisation of the

6. L'*acrobate* croit que tous les autres n'ont rien compris en mettant l'accent sur l'écosystème. En réalité, la gestion s'applique à l'activité humaine. L'effet biologique est indirect. Le secret, c'est de trouver un équilibre entre les intérêts de l'homme et les besoins de l'écosystème. Si les intervenants n'adoptent pas une approche biologique brillante, à quoi sert-elle?

L'ESG comprend deux éléments principaux : une stratégie de gestion (ou une suite de stratégies) à mettre à l'essai et un modèle opératoire pour la mise à "essai. Dans la pratique, ce processus fait appel aux connaissances de tous les joueurs susmentionnés. L'*explorateur* doit encore recueillir les données requises pour la mise en oeuvre de la politique. Le *détective* doit encore faire les évaluations enfouies dans la stratégie. L'*arpenteur* doit convertir les résultats en décisions stratégiques. Le *romancier* doit faire preuve d'inventivité pour écrire la simulation au coeur du modèle opératoire. L'architecte doit tester les stratégies proposées. Et l'*acrobate* doit veiller à ce que les intervenants adoptent le plan et qu'ils le mettent en pratique.

Dans un atelier comme celui-ci, il est inévitable que les participants percevront l'éléphant (la gestion de l'écosystème) de façon très différente. Il reste que nous avons au Canada, au sens décrit ci-dessus, des explorateurs, romanciers, détectives, arpenteurs, architectes et acrobates compétents. Le principal défi, c'est les amener à collaborer. Cela ne se produira que (1) s'ils trouvent le problème intéressant et stimulant, (2) s'ils conviennent de buts communs et aiment travailler ensemble et (3) si leurs efforts concertés sont reconnus.

Résumé de l'atelier de la FAO sur les meilleures pratiques de modélisation d'écosystème pour guider une approche de gestion écosystémique (Italie, 2007)
Elizabeth Fulton, CSIRO, Australie

Au début des années 1990, en réponse à la surexploitation des stocks de poissons, aux modifications de l'écosystème marin, aux importantes pertes économiques et à la menace à la durabilité des pêches maritimes que posait le conflit international au chapitre de la gestion et du commerce des espèces marines, la FAO (en consultation et en collaboration avec d'autres organismes) a créé le concept des pêches responsables et élaboré un code de conduite. Les

limitations associated with single species models that have occurred in the intervening decade have seen multispecies and ecosystem models increasingly used as tools in fisheries science. As a result it was important to append the code to include best practice guidelines for the use of such models.

progrès technologiques et la réalisation des limites des modèles fondés sur une seule espèce qui se sont produits au cours de la décennie suivante ont mené à l'utilisation de plus en plus fréquente de modèles fondés sur de multiples espèces et de modèles d'écosystème comme outils en halieutique. Il était donc important d'annexer au code des lignes directrices sur les meilleures pratiques pour l'utilisation de tels modèles.

Ecosystem models come in many forms and with varying degrees of complexity. They contribute in many different ways to the scientific information for supporting management decisions – they can be used to provide: conceptual understanding, information for strategic directions for management (which are long-range, broad-based and linked to policy goals), and they are being used (occasionally) for making some tactical decisions (which are short-term and linked to operational objectives). A set of best practice guidelines for the use of aquatic ecosystem modelling as a tool for provision of management advice were developed by a group of leading practioners in the field. The guidelines are intended to assist users in the construction and application of ecosystem models for ecosystem-based fisheries management, so that the best possible information and advice is generated from ecosystem models and the output is used wisely.

Les modèles d'écosystème, de niveaux de complexité variables, prennent de nombreuses formes. Ils bonifient de nombreuses façons les données scientifiques en appui des décisions de gestion – ils peuvent aider à comprendre des concepts, à obtenir des renseignements en appui des orientations stratégiques de gestion (de grande portée, à large assise et liées à des buts stratégiques). Ils servent également à l'occasion à prendre des décisions tactiques (à court terme et liées à des objectifs opérationnels). Un groupe de praticiens éminents du domaine ont élaboré un ensemble de lignes directrices sur les meilleures pratiques pour l'utilisation de modèles d'écosystème aquatique comme outil pour la prestation d'avis de gestion. Les lignes directrices visent à aider les usagers à construire des modèles d'écosystème et à les appliquer à la gestion écosystémique des pêches afin qu'ils produisent les meilleurs avis et données possibles et que les sorties soient utilisés à bon escient.

The need for the use of ecosystem models grew from the need to account for the objectives of a broad range of stakeholders. The objectives typically include potentially conflicting goals, such as the maintenance of employment and the reduction impacts of fisheries on species of conservation concern. This means that there must be consideration of both fisheries resources and ecosystems, but other topics that need to be considered in the shift to ecosystem-based management are ecosystem services, the poor performance of single species focus and an increased understanding and awareness of ecosystem-related uncertainties. In particular, management for sustainable ecosystems now needs to consider the impact of fisheries on ecosystems and vice versa. This means consideration of the impacts on target, by-catch, non-target species, physical damage to habitat and food-chains may all be necessary.

Le besoin d'utiliser des modèles d'écosystème est né du besoin de tenir compte des objectifs d'une vaste gamme d'intervenants, qui incluent typiquement des buts potentiellement opposés, comme le maintien de l'emploi et la réduction des incidences de la pêche sur des espèces dont la conservation est considérée comme préoccupante. Il faut donc prendre en considération les ressources halieutiques et les écosystèmes, mais il faut également tenir compte, lors du passage à la gestion écosystémique, d'autres enjeux tels les services écosystémiques, la faible performance de l'approche monospécifique, ainsi que la compréhension et la sensibilisation accrues aux incertitudes reliées à l'écosystème. En particulier, la gestion pour des écosystèmes durables doit maintenant tenir compte des impacts de la pêche sur les écosystèmes et vice versa. Cela signifie qu'il sera peut-être nécessaire de tenir compte des impacts sur les espèces ciblées, les espèces capturées accessoirement, les espèces non ciblées et les dommages physiques causés à l'habitat et aux chaînes alimentaires.

Management strategy evaluation is considered the best means of using ecosystem models to address questions in support of ecosystem-based management. The kinds of questions that can be addressed in that way include issues relating to target and related species (including impacts of target species on the system, ecosystem considerations when rebuilding, bycatch related impacts, competition between fisheries and species of concern, the impact of the removal of top-predators or their prey on the system, and the shortfalls of single species assessments which do not include multispecies drivers); the impacts of fishing on biodiversity or previously unexploited species and the impacts of introduced species or non-retained bycatch; and environmental and unintentional impacts of other humans sectors or the effects of habitat modification.

L'évaluation de stratégie de gestion est considérée comme le meilleur moyen d'utiliser des modèles d'écosystème pour trouver réponse aux questions en appui de la gestion écosystémique. Ces questions incluent les problèmes reliés aux espèces ciblées et aux espèces apparentées (y compris les impacts des espèces ciblées sur le système, les considérations écosystémiques pour la reconstitution des stocks, les impacts reliés aux prises accessoires, la compétition entre les pêches et les espèces préoccupantes, l'impact du prélèvement de prédateurs en bout de chaîne ou de leurs proies sur le système et les faiblesses des évaluations monospéficiques qui ne tiennent pas compte des moteurs plurispécifiques); les impacts de la pêche sur la biodiversité ou des espèces auparavant inexploitées et les impacts d'espèces introduites ou des prises accessoires rejetées; et les incidences environnementales et les incidences accidentelles d'autres secteurs d'activité humaine ou les effets de la modification d'habitat.

When constructing models there is an iterative loop of scoping, construction, validation, evaluation and resulting recommendations. As part of that the following must be considered:

- model resolution (trophic, size and age structure, spatial, seasonal, stocks, fleet structure and boundary conditions) should be kept around the minimum needed to represent or capture critical dynamics;
- model components (primary production and nutrient cycling, recruitment, movement, fleet dynamics, predator-prey functional responses, environmental forcing, random variation and other process error, and other anthropogenic forcing (e.g. pollution)) should be included if the associated feedbacks are significant drivers of the system or have substantial impact on the system components under consideration. It is strongly recommended that multiple forms of processes representations should be considered to check for sensitivity and reflect uncertainty about system structure and functioning;
- model structure (and the potential to generate alternative stable states) also require significant attention as they can be sources of considerable uncertainty;
- other interactions, such as technical and non-trophic interactions may be needed in some

Le processus de construction d'un modèle est itératif : établissement de sa portée, construction elle-même, validation, évaluation et recommandations résultantes. Ce processus doit tenir compte de ce qui suit :

- La résolution du modèle (niveau trophique, structure par âge et par taille, ordre spatial, conditions saisonnières, stocks, structure de la flottille et limites) devrait être maintenue alentour du minimum requis pour représenter ou saisir l'essentiel de la dynamique.
- Les éléments du modèle [production primaire et cycle des substances nutritives, recrutement, déplacements, dynamique de la flottille, forçage environnemental, réactions fonctionnelles prédateur-proie, variation aléatoire et autre erreur de processus, et autre forçage anthropique (p. ex. pollution)] devraient être inclus si les rétroactions sont d'importants moteurs du système ou ont un effet important sur les composantes du système à l'étude. Il est fortement recommandé de considérer des formes multiples de représentation des processus pour établir la sensibilité du modèle et refléter les incertitudes au titre de la structure et de la fonction du système.
- Une attention particulière doit aussi être portée à la structure du modèle et à la possibilité de créer d'autres états stables car elles peuvent être des sources de grande incertitude.
- Il pourrait être nécessaire d'inclure d'autres interactions dans certains cas, comme les

cases, but should only be included if actually necessary; and again multiple forms should be considered.

A recurring theme of this list is that when dealing with model specification it is important to consider all sources of uncertainty (fitting to data, parameters, and structure). Similarly, it is important to include the major sources of real world uncertainty when building an MSE (e.g. assessment, implementation & behavioural uncertainty). This means that it is also important to include social and economic drivers as much as possible.

Another critical aspect of the use of ecosystem models is to provide indicators that capture all aspects of the model's components and addresses the range of performance measures held by the stakeholders – including ecological as well as social and economic measures. This is not a trivial task however, as the magnitude of output can be substantial, but it is essential for understanding and uptake for the insights to be transparently communicated so they are easily understood. The resources involved in modelling and communication mean that modularisation of the model components and tools are strongly recommended.

While the different forms of models are associated with alternative data requirements (the amount increasing once models move beyond the conceptual level) the key data types are removals, abundance, vital rates, and diet (interaction) data. While opportunistic data are very useful when developing and validating ecosystem models, where possible there should be links to dedicated (model guided) collections, to ensure that the most useful and appropriate data are collected. Regardless of whether such collections are possible or not, data pedigrees should be maintained, so others can judge the value of the data included in the model; and time series should be used to challenge and validate the model's performance.

Ecosystem modelling is not a simple task, so to make it as easy and robust as possible the simplest models suitable for a question should be the models of choice. Due to the uncertainty

interactions techniques et les interactions non trophiques, mais seulement si elles sont réellement nécessaires. À nouveau, des formes multiples devraient être considérées.

Un thème revient dans cette liste : il est important de tenir compte dans les spécifications du modèle de toutes les sources d'incertitude (ajustement des données, paramètres et structure). De même, il est important d'inclure, à l'élaboration d'une ESG, les principales sources d'incertitude réelles (p. ex. évaluation, application et incertitude comportementale). Cela signifie qu'il est également important d'y inclure les moteurs sociaux et économiques autant que faire se peut.

Un autre aspect crucial de l'utilisation de modèles d'écosystème est de fournir des indicateurs qui saisissent tous les aspects des composantes du modèle et de traiter la gamme des mesures de rendement établies par les intervenants – y compris des mesures sociales, économiques et écologiques. Cette tâche n'est pas insignifiante, car le nombre d'extrants peut être élevé, mais il est essentiel, pour la compréhension et l'application, que les enseignements soient communiqués de façon transparente de sorte à ce qu'il soit facile de les comprendre. Les ressources requises pour la modélisation et la communication signifient que la modularisation des outils et des composantes du modèle est fortement recommandée.

Quoique les exigences en matière de données des diverses formes de modèle varient (la quantité de données requises augmentant une fois passée l'étape de la conception), les principaux types de données sont les ponctions, l'abondance, les indices vitaux et le régime alimentaire. Bien que les données opportunistes soient très utiles pour le développement et la validation de modèles d'écosystème, des données spécialisées devraient être recueillies (en se servant d'un modèle comme guide) afin d'assurer que les plus utiles et les plus appropriées soient recueillies. Indépendamment qu'il soit possible ou non de recueillir de telles données, leur provenance devrait être documentée de sorte à ce que les autres puissent juger la valeur de celles incluses dans le modèle, et des séries chronologiques devraient être utilisées pour analyser et valider la performance du modèle.

La modélisation d'écosystème n'est pas une tâche facile. Pour la simplifier et la consolider autant que faire se peut, les modèles adéquats les plus simples devraient être choisis. Toutefois, en

associated with ecosystem modelling however, a plurality of models is important. This may seem to make a daunting task even more difficult, but it provides incredibly useful insights and indicates just how much uncertainty is associated with current understanding. Importantly, uncertainty should not be used as an excuse to put off attempts at ecosystem modelling, as then it is likely that the fall back is a mental model that is subjective, untested and incomplete.

Discussion

Q: You quoted Walters as saying that complex models often end up being simplified down.

A: Yes, when there are many parameters, some are not played with much, and some are looked at extensively and consistently found to be the main drivers. However, even without these parameters being sensitive it is still important to have them in there if they define critical (key) system processes.

Q: When qualitative goes head to head with quantitative models, the qualitative models tend to lose. Why have the conceptual models?

A: Conceptual models come down to drawing network models with pluses or minuses, they can help to identify high uncertainty, identify structural issues. Even if you go beyond the qualitative, it is important to have that step first.

Q: How do you reconcile the simulation world with the real world? How do you communicate this to the clients?
A: Try to trip up the model whenever possible. It is more informative to have a model that is wrong, because you can learn from the errors. Use the analogy with simulation computer games to communicate to public.

Q: Given the broad range of uncertainty in complex models, doesn't it automatically select for stabilizing mechanisms?
A: Yes, that is why we try to shock the model. There also is no evolution, so to get to a different state, a different model may be needed.

Q: MSE has been part of the Australian scene for 10-15 years. Workshops are facilitated by professional communicators. How complex does the model need to be? The only way to find out if

raison de l'incertitude associée à la modélisation d'écosystème, il est important de construire plusieurs modèles. Cela semble rendre une tâche déjà intimidante encore plus difficile, mais elle fournit des enseignements incroyablement utiles et révèle l'ampleur de l'incertitude qui règne. L'incertitude ne devrait cependant pas servir d'excuse pour remettre les tentatives de modélisation d'écosystème à plus tard car il est probable que la solution de secours est un modèle mental subjectif, inéprouvé et incomplet.

Discussion

Q. Vous avez cité Walters, qui disait que les modèles complexes finissent souvent par être simplifiés.
R. Oui, lorsque les paramètres sont nombreux, certains sont peu manipulés alors que d'autres le sont considérablement et ils se révèlent toujours les principaux moteurs. Toutefois, même si des paramètres ne sont pas sensibles, il est important de les inclure s'ils définissent des processus écosystémiques clés.

Q. Lorsque les modèles qualitatifs font concurrence aux modèles quantitatifs, les qualitatifs ont tendance à perdre. Pourquoi avoir des modèles conceptuels?
R. Un modèle conceptuel se compare à un modèle en réseau, avec des plus et des moins. Il permet de déceler un niveau d'incertitude élevé, des problèmes de structure. Même si vous allez au-delà de l'aspect qualitatif, la première étape est importante.

Q. Comment conciliez-vous le monde réel avec le monde simulé? Comment le communiquer aux clients?
R. Essayez de déstabiliser le modèle lorsque possible. Il est plus informatif d'avoir un modèle qui est erroné parce que vous apprenez de vos erreurs. Pour communiquer avec le public, faites une analogie aux jeux électroniques.

Q. Étant donné la vaste incertitude inhérente à un modèle complexe, ne choisit-il pas des mécanismes stabilisateurs automatiquement?
R. Oui, c'est pourquoi nous essayons de déstabiliser le modèle. Comme il n'évolue pas, un modèle différent peut être requis pour obtenir un état différent.

Q. L'ESG fait partie du paysage australien depuis quelque 10 à 15 ans. Des agents de communication professionnels facilitent les ateliers. Dans quelle mesure le modèle doit-il être

the model is simple enough is to make it more complex.

A: We do see a degradation in performance if the model gets too complex.

complexe? La seule manière d'établir si un modèle est suffisamment simple est de le rendre plus complexe.
R. Nous avons constaté que la performance diminue si le modèle est trop complexe.

Summary of NMFS National Ecosystem Modelling Workshop (NEMoW, Santa Cruz, August 29-31, 2007)
Jason S. Link, NMFS, USA.

Résumé de l'atelier national du NMFS sur la modélisation d'écosystème (NEMoW, Santa Cruz, 29-31 août 2007)
Jason S. Link, NMFS, États-Unis.

The NMFS held a National Ecosystem Modelling Workshop (NEMoW) in Santa Cruz, CA on August 29-31, 2007. NEMoW was held as a national workshop analogous to National Stock Assessment Workshops and National Economists Meetings for the purpose of exploring the establishment of EM (shorthand for ecosystem modelling; including a wide range of biophysical, multispecies and ecosystem modelling) standards of use and review for living marine resource management applications. There were 39 participants and 6 observers.

Le NMFS a tenu un atelier national sur la modélisation d'écosystème (NEMoW) à Santa Cruz, en Californie, du 29 au 31 août 2007. Cet atelier se compare aux ateliers nationaux d'évaluation de stock et aux réunions nationales d'économistes, visant à établir des normes de ME (modélisation d'écosystème, y compris une vaste gamme de modèles biophysiques, pluri-spécifiques et écosystémiques) et à passer en revue leur application à la gestion de ressources marines vivantes. L'atelier a réuni 39 participants et six observateurs.

A full workshop report will be forthcoming in a few months. Here I provide a brief summary of the workshop.

Un rapport intégral de l'atelier sera diffusé dans quelques mois. Voici un bref résumé de l'atelier.

The feedback on the meeting was categorically positive. The benefits of being aware of and transferring best practices among NMFS Fishery Centers was universal and high.

Les commentaires sur l'atelier étaient fort positifs. Tous ont reconnu les avantages de la connaissance des meilleures pratiques et de leur transfert aux centres des pêches du NMFS.

There was recognition that there is a copious amount of NMFS-wide EM work, an observation not to be overlooked. Often this work is done on an ad hoc, individual, or crisis basis, which makes the scope and extent of existing NMFS EM efforts all the more impressive.

Les participants ont reconnu que beaucoup de travaux sont menés en ME à l'échelle du NMFS, ce qui n'est pas à négliger. Ces travaux sont souvent menés par une seule personne, de façon ponctuelle ou en réaction à une crise, ce qui rend la portée et l'ampleur de ces efforts de ME encore plus impressionnantes.

Given the expressed interest by a plethora of our stakeholders relayed at the workshop, it was observed that EM efforts should continue or be expanded. A wide range of issues was identified as common and historically important. From these, we identified an extensive set of generic EM objectives and model classes that are widely applicable across NMFS and that addressing these objectives merit an EM approach. It was clear that these more holistic, broader EM issues will persist into the foreseeable future.

Étant donné l'intérêt montré par un très grand nombre d'intervenants et exprimé à l'atelier, les travaux de ME devraient se poursuivre ou être élargis. Une vaste gamme d'enjeux ont été identifiés comme étant communs et historiquement importants. De là, nous avons établi une longue liste d'objectifs génériques de ME et de classes de modèle qui s'appliquent largement à l'échelle du NMFS. L'analyse de ces objectifs requiert une approche de ME. Il était clair que ces problèmes de ME, plus généraux et plus vastes, perdureront dans un avenir prochain.

The NEMoW report will provide some recommendations for National EM efforts in NMFS. Three major recommendations that will

Le rapport du NEMoW contiendra quelques recommandations au titre de travaux nationaux de ME au sein du NMFS. Trois recommandations

likely make the final report in some form will be suggestions to: 1) routinely hold NEMoWs, 2) more formally increase EM efforts at each Center, and 3) establish living marine resource EM standards and guidelines. There were other proposed recommendations, but they were not as noteworthy nor will they have implications as large as the ones mentioned here.

Another key conclusion from the workshop was that no one model should be exclusively adopted or avoided. We noted that although feasible, it may not be necessary to establish an EM toolbox. The observation was that doing so might stifle innovation and locally adapted applications of these models. More germane, many of the EM tools, software, etc. are already being exchanged among NMFS ecosystem modelers, but efforts to facilitate these exchanges more efficiently should continue or expand. The workshop recognized the need to identify best practices for EM without becoming too prescriptive.

The broader context of ecosystem considerations in the NMFS was also discussed. Given several forthcoming initiatives and copious calls for ecosystem based management, NEMoW was quite timely. Given the demographic of NEMoW participants and the congruence of a wide range of living marine resource ecosystem considerations, NMFS appears to be in a favorable position as the need to apply EM to key living marine resource issues continues. Certainly the development of expertise and technical capacity is still needed, as is increased engagement of external (to NMFS) partners, but there is a reasonably established foundation for NMFS to build upon for future EM efforts.

Discussion

Q: Did you review North Pacific Research Board standards? These standards are a start.

A: Yes, these standards were flagged at workshop.

Q: Could you make the 20 questions available to us?
A: Will make the questions available.

Q: Is there a central repository for talks and discussion from this meeting? What about setting

principales s'y retrouveront probablement 1) tenir régulièrement un NEMoW; 2) accroître les efforts de ME à chaque centre des pêches et 3) établir des normes et des directives pour la ME de ressources marines vivantes. D'autres recommandations ont été formulées, mais elles n'étaient pas autant notables et n'auront pas de répercussions aussi grandes que celles indiquées ci-dessus.

Une autre conclusion clé de l'atelier veut qu'aucun modèle ne soit exclusivement adopté ou évité. Bien que cela soit faisable, nous avons constaté qu'il n'est peut-être pas nécessaire de constituer une boîte d'outils pour la ME. Le faire pourrait étouffer l'innovation et les applications locales de ces modèles. Plus pertinemment, les modélisateurs d'écosystème du NMFS s'échangent déjà nombre des outils, de logiciel, etc., de ME; les efforts en vue de faciliter cet échange devraient se poursuivre et même élargis. Il a été reconnu lors de l'atelier que les meilleures pratique de ME doivent être établies, mais qu'elles ne devraient pas être normatives.

Le contexte plus large des considérations écosystémiques au NMFS a aussi été abordé. Étant donné plusieurs initiatives prochaines et les nombreuses demandes de mise en œuvre de la gestion écosystémique, NEMoW était très opportun. Étant donné la répartition démographique des participants à l'atelier et la concordance d'une vaste gamme de considérations écosystémiques au titre des ressources marines vivantes, NMFS semble être dans une position favorable car le besoin d'appliquer la ME à des questions clés au titre de ces ressources perdure. Le développement de compétences et de la capacité technique doit se poursuivre, et nos partenaires extérieurs doivent s'engager encore plus, mais notre assise de ME est assez bien établie pour poursuivre nos travaux.

Discussion

Q. Avez-vous passé en revue les normes du North Pacific Research Board? Ces normes sont un bon point de départ.
R. Oui, nous l'avons fait.

Q. Pourriez-nous nous fournir les 20 questions?

R. Oui.

Q. Existe-t-il un dépôt central des présentations et des discussions pour cet atelier? Et avez-vous

up a Wiki for this meeting?
A: Not yet, but we will follow up on this idea. NEMoW has a website:
http://www.st.nmfs.noaa.gov/st7/nemow.html

pensé à créer une page Wiki aux mêmes fins?
R. Pas encore, mais nous allons faire un suivi. NEMoW a un site Web. Il se trouve à
http://www.st.nmfs.noaa.gov/st7/nemow.html.

MODELLING PRESENTATIONS AND BREAK-OUT GROUP DISCUSSIONS

Extended Single Species Assessment Models (ESAM) - 1

Alan Sinclair, DFO, Science, Pacific Region

No summary provided.

Discussion

This was an example of a single species assessment with environmental covariates. These extended assessments tended to produce better estimates of F_{MSY}. The estimates were biased upwards when M was fixed. While these were simplified versions of management procedure evaluations, it was noted such procedures should be included in model development.

There was discussion on whether M should be estimated or fixed. It was noted that it is clear that M is often not equal to 0.2 and varies with time and age. If data on M is available, it should be used to estimate the values of M to use in the model. However, it was suggested that M should not be estimated within the model.

Extended Single Species Assessment Models (ESAM) - 2

Robert K. Mohn, DFO, Science, Maritimes Region

Two single species virtual population analyses (VPAs), eastern Scotian Shelf cod and haddock, were linked principally by the predation of cod. The cod are cannibalistic and also eat haddock. Although haddock eat 0 and 1 group cod and haddock, this interaction is insignificant compared to the cod predation. Extending the cod VPA to include cannibalism is still a single-species VPA but it incorporates another source of mortality explicitly. It is only incrementally more complicated than a VPA which assumes a constant M or one estimated from abundance data. The extra costs are in the stomach data requirements and a slightly more complicated fitting procedure, an added iterative fitting of the consumption.

Management implications of the enhanced VPA were examined using equilibrium yield analysis. In simulations the equilibrium yield was very sensitive to the amount of cannibalism. However,

PRÉSENTATIONS SUR LA MODÉLISATION ET DISCUSSIONS EN PETITS GROUPES

Modèles élargis pour l'évaluation d'une espèce (ESAM) - 1

Alan Sinclair, Sciences - MPO, Région du Pacifique

Résumé non fourni.

Discussion

Exemple d'évaluation d'une espèce incorporant des covariables environnementales, ces modèles élargis ont tendance à donner de meilleures estimations de F_{REM}. Les estimations sont biaisées à la hausse lorsque M est fixe. Bien que ce soient des versions simplifiées d'évaluations de stratégie de gestion, de telles procédures devraient être incluses dans le développement de modèle.

M devrait-il être estimé ou être fixe? Il est évident que, souvent, M n'est pas égal à 0,2 et varie selon l'âge et avec le temps. Si des données pour M sont disponibles, elles devraient être utilisées pour en estimer la valeur aux fins d'inclusion dans le modèle. Mais M ne devrait pas être estimé d'après le modèle.

Modèles élargis pour l'évaluation d'une espèce (ESAM) - 2

Robert K. Mohn, Sciences - MPO, Région des Maritimes

Les analyses des populations virtuelles (APV) de deux espèces de l'est du plateau néo-écossais (la morue et l'aiglefin) étaient reliées principalement par la prédation exercée par la morue. La morue est cannibale, mais elle se nourrit aussi d'aiglefin. L'aiglefin se nourrit de morue et d'aiglefin d'âges 0 et 1, mais cette prédation est insignifiante en comparaison de celle exercée par la morue. L'APV élargie de la morue, qui inclut le cannibalisme, est encore une APV monospécifique, mais elle inclut clairement une autre source de mortalité. Elle est un peu plus compliquée qu'une APV classique, qui suppose que M est constant ou estimé d'après des données d'abondance. Des données sur les contenus stomacaux sont requises, ainsi qu'une autre étape d'ajustement itératif de la consommation.

Une analyse du rendement d'équilibre a été faite pour établir les conséquences de l'APV élargie pour la gestion. Dans les simulations, le rendement d'équilibre était très sensible au niveau de

when parallel VPAs were performed with and without cannibalism, the addition of the cannibalism term did not greatly affect the shape of the equilibrium yield, compared to say the uncertainty in estimating terminal biomass. This was because of a cancellation due to the estimation of stock-recruit relationships within each model.

Because the extended single assessment models are structurally (in terms of outputs) similar to the non-extended version, they are easily incorporated into any MSE software available for the latter models. They also benefit from relatively easy communication and assimilation of results.

Break-Out Group Discussion – ESAM

Extended single-species assessment models (ESAM) are amongst the simplest of ecosystem modelling approaches. The approach is based on single-species assessment models which are extended by making modifications to the model to reflect some basic processes about which there are some data. For example, single-species models can be extended by incorporating cannibalism, predation or other known sources of mortality in the models. Other examples of additions include density-dependent growth and climate effects on recruitment. These models apply primarily to fisheries and species-at-risk applications though the models could be adapted to certain aquaculture applications. These models are generally designed to answer specific questions.

In terms of technical expertise, despite their relative simplicity, these types of models still require a moderate amount of expertise and would not be recommended for use by non-modelers as there would be potential for spurious results. Proficient stock assessment personnel with quantitative skills are required to develop and run these models. Assuming an average level of quantitative skills, these approaches would not be too difficult to learn by new users.

The costs of this approach are mostly related to personnel. Some software packages available for stock assessment and data analysis purposes can be used to implement these approaches. Data required are those necessary for single species assessment and time series of data for the parameters used in the extension (e.g. environmental data, predation estimates). If stock assessment data are already available, the cost

cannibalisme. Cependant, lorsque des APV parallèles avec et sans cannibalisme ont été faites, l'ajout du cannibalisme a eu peu d'effet sur la forme du rendement d'équilibre en comparaison de, par exemple, l'incertitude entourant l'estimation de la biomasse terminale. Cela résulte d'un effet d'annulation dû à l'estimation des relations stock-recrutement dans chaque modèle.

Parce que les modèles élargis d'évaluation d'une espèce sont, en termes de sorties, structuralement semblables aux versions non élargies, il est facile de les incorporer dans n'importe quel logiciel ESG disponible pour celles-ci. Il est également facile d'en communiquer et d'en comprendre les résultats.

Discussion en petits groupes - ESAM

Les ESAM constituent une des approches de modélisation d'écosystème les plus simples. L'approche repose sur des modèles d'évaluation monospécifique qui sont modifiés afin de tenir compte de certains processus fondamentaux pour lesquels des données sont disponibles. Par exemple, les modèles d'une espèce peuvent être élargis par inclusion du cannibalisme, de la prédation ou d'autres sources connues de mortalité. La croissance dépendante à la densité et les effets du climat sur le recrutement peuvent également y être inclus. Ces modèles s'appliquent principalement aux pêches et aux espèces en péril, mais ils peuvent être adaptés et appliqués à l'aquaculture. Ils sont généralement conçus pour répondre à des questions précises.

Sur le plan technique, malgré leur simplicité relative, ces modèles requièrent tout de même un niveau moyen de compétences. Il n'est pas recommandé aux ignares de la modélisation de les utiliser car les résultats pourraient être trompeurs. Il faut des experts des évaluations de stock pour élaborer et passer ces modèles. Un nouvel utilisateur possédant un niveau moyen de compétences techniques devrait être capable d'apprendre à les utiliser.

Les coûts d'application de cette approche sont reliés au personnel requis. Certains progiciels pour l'évaluation de stock et l'analyse de données peuvent être utilisés pour l'appliquer. L'approche requiert les données nécessaires pour l'évaluation d'une espèce et les séries chronologiques de données pour les paramètres utilisés dans le modèle élargi (p. ex. estimation de la prédation, données environnementales). Si des données

of this approach is low in terms of data preparation since it is the same type of data used by these models. Generally, the costs of these approaches are primarily related to the modifications of routines to implement changes to the model.

d'évaluation de stock sont disponibles, les coûts de préparation des données seront faibles car c'est le même type de données utilisé dans les modèles. En général, les coûts sont principalement reliés aux modifications des routines pour apporter les changements nécessaires aux modèles.

Many of the assumptions used in these models are similar to single-species models. The assumptions will differ from one case to another as the extensions often relate to different assumptions being used. The assumptions used will depend on an understanding of the mechanisms involved. In general, the assumptions of these models are explicitly described making these models more transparent.

Nombre des hypothèses utilisées dans ces modèles ressemblent à celles des modèles monospécifiques. Elles ne seront pas les mêmes d'un cas à l'autre car les modèles élargis font souvent appel à des hypothèses différentes; celles utilisées dépendront de la compréhension des mécanismes en cause. En général, les hypothèses sont explicitement décrites, ce qui rend les modèles plus transparents.

The approach can accommodate either size or age structure although most of the examples provided used an age structure. Species interactions can be included if that type of process is modelled, however the examples provided did not include feedback loops. A number of functional responses can be used. These models can also handle migratory species and can include physical forcing if the mechanisms are reasonably understood and it is desired that they be included. Uncertainty around input data can be incorporated in the model and the uncertainties around parameter estimates can be assessed. Models developed can be used in other ecosystems with similar issues. The approach is usually not used to look at spatial issues. The approach has been used in the management of Pacific sardines in the US where climate-mediated changes in abundance are modelled.

L'approche peut s'adapter à la structure par âge ou par taille, bien que la plupart des exemples fournis étaient centrés sur une structure par âge. Les interactions interspécifiques peut être incluses si ce type de processus est modélisé, mais des boucles de rétroaction n'étaient pas incluses dans les exemples fournis. Un certain nombre de réponses fonctionnelles peuvent être utilisées. Ces modèles se prêtent aussi aux espèces migratoires et le forçage physique peut y être inclus si les mécanismes sont assez bien compris. L'incertitude entourant les données d'entrée peut être incorporée dans le modèle, et les incertitudes entourant les paramètres estimés peuvent être évaluées. Les modèles peuvent être appliqués à d'autres écosystèmes connaissant des problèmes semblables. L'approche n'est habituellement pas utilisée pour analyser des problèmes d'ordre spatial. Aux États-Unis, les changements dans l'abondance de la sardine du Pacifique, modulés par le climat, ont été modélisés aux fins de gestion de l'espèce.

The approach can be used to identify operational indicators and reference points for species or for pressures however it cannot be used to arrive at similar reference points for other ecosystem components and properties. Through management procedure evaluations (MSEs), the models can be used to develop harvest control rules for fisheries. These control rules could take account of environmental forcing, implementation uncertainty and species interactions to a limited extent. For the latter, the lack of a feedback loop would be a drawback where such a loop exists. This approach (including MSE) can be used to calculate the risks and likelihood of meeting management objectives.

L'approche peut être utilisée pour identifier des indicateurs opérationnels et des points de référence pour des espèces ou des pressions, mais elle ne peut pas servir à établir des points de référence semblables pour d'autres composantes et propriétés d'écosystème. Par le truchement d'une ESG, les modèles peuvent servir à élaborer des règles de pêche. Ces règles peuvent, de façon limitée, tenir compte du forçage environnemental, de l'incertitude entourant la mise en application et des interactions interspécifiques. Dans le dernier cas, l'absence d'une boucle de rétroaction serait un désavantage lorsqu'une telle boucle existe. Cette approche (y compris l'ESG) peut être utilisée pour calculer les risques et la vraisemblance de satisfaction des objectifs de gestion.

The advantages of this approach is that it is a simpler modelling exercise, uses data available for single-species assessments and produces outputs that are familiar to fishery managers. These models can be more biologically representative than single species models. A disadvantage is that it is an over-simplification and does not account for complex interactions. Another disadvantage is that it requires somewhat more data and the additional mechanisms may not be well understood. The model outputs are generally more precautionary and it was noted that this quality may be less desired by fisheries managers.

Cette approche comporte les avantages d'être simple, d'utiliser des données disponibles pour les évaluations monospécifiques et de produire des résultats connus des gestionnaires des pêches. Ces modèles peuvent être plus représentatifs sur le plan biologique que les modèles monospécifiques. Par contre, ils ont le désavantage d'être une simplification excessive et ne tiennent pas compte des interactions complexes. De plus, ils requièrent un peu plus de données, et les mécanismes additionnels peuvent être mal compris. Les sorties de modèle sont généralement plus prudentes, et les gestionnaires des pêches peuvent ne pas désirer ce niveau de qualité.

Multi-species Models and Minimal Realistic Models

André E. Punt, School of Aquatic and Fishery Sciences, University of Washington, USA

Modèles d'espèces multiples et modèles réalistes minimaux

André E. Punt, School of Aquatic and Fishery Sciences, University of Washington, États-Unis

Minimal Realistic Models (MRMs; Butterworth and Harwood, 1991) are multi-species modelling frameworks that are characterized by a focus on a small group of selected species and a relatively small number of questions. For example, Punt and Butterworth (1995) developed an MRM for the seal-hake-fishery off the west coast of South Africa to evaluate the benefits of seal culls on fishery yields. They selected species for inclusion in their MRM model so that >90% of the (identified) predation on medium to large hake was included in the model.

Les modèles réalistes minimaux (MRM, Butterworth et Harwood, 1991) sont des cadres de modélisation de plusieurs espèces caractérisés par l'accent mis sur un petit groupe d'espèces choisies et un nombre relativement faible de questions. Par exemple, Punt et Butterworth (1995) ont développé un MRM de la récolte du merlu et du phoque sur la côte Ouest de l'Afrique du Sud pour évaluer les avantages de l'abattage sélectif de phoques sur le rendement des pêches. Pour leur MRM, ils ont choisi les espèces de sorte à ce que plus de 90 % de la prédation exercée sur les merlus de taille moyenne et grande soit incluse.

Unlike "full ecosystem models" such as Atlantis (Fulton *et al.*, 2004) or Ecopath with Ecosim (Christensen and Walters, 2004), MRMs, particularly the MRMs developed most recently, have a focus on parameter estimation and representation of uncertainty. For example, the values for the parameters of MLMAK (Kinzey and Punt, submitted) and GADGET (Stefansson, 2003) can be estimated using maximum likelihood techniques and data on catches, indices of relative abundance, survey and catch age- and size-compositions, and data from diet studies. Moreover, the results from these MRMs can be represented in the form of point estimates and measures of precision such as confidence intervals and Bayesian credibility intervals.

Au contraire des modèles d'écosystème entier, comme Atlantis (Fulton *et al.*, 2004) et Ecopath-Ecosim (Christensen et Walters, 2004), les MRM, en particulier les MRM récemment développés, mettent l'accent sur l'estimation des paramètres et la représentation de l'incertitude. Par exemple, on peut estimer les valeurs pour les paramètres de MLMAK (Kinzey et Punt, soumis) et GADGET (Stefansson, 2003) à l'aide de la méthode de vraisemblance maximale, de données sur les prises, d'indices d'abondance relative, de données sur la composition des prises commerciales et des prises de relevé par âge et par taille, et des résultats d'études du régime alimentaire. En outre, les extrants des MRM peuvent être représentés sous forme d'estimations ponctuelles et de mesures de précision, comme des intervalles de confiance et des intervalles de crédibilité bayesiens.

MRMs can either be used to provide tactical fisheries management advice (e.g. Total

Les MRM peuvent servir à la prestation d'avis de gestion des pêches (p. ex. le total autorisé des

Allowable Catches according to some harvest control rule) or to form the basis for an evaluation of fisheries policies (e.g. operational management procedures and harvest control rules). Plaganyi (2007) categorizes a large number of the multi-species models developed with a view to providing tactical management advice (e.g. MSM, MLMAK, MSVPA/MFOR, MULTISPEC, BORMICON, GADGET) as MRMs along with those models developed primarily for policy evaluation (the Punt-Butterworth hake model and the models developed at CCAMLR to examine the behaviour of alternative rules for allocating krill catch limits spatially). Although several MRMs have been developed and published in the peer-reviewed literature, they have seldom been used as the basis of tactical fisheries management advice.

captures compte tenu d'une règle de limite des prises) ou former la base de l'évaluation de politiques de pêche (p. ex. procédures opérationnelles de gestion et règles de limite des prises). Plaganyi (2007) classe par catégories un grand nombre des modèles d'espèces multiples qui ont été développés pour fournir des avis de gestion tactiques (p. ex. MSM, MLMAK, MSVPA/MFOR, MULTISPEC, BORMICON, GADGET) sous forme de MRM ainsi que les modèles élaborés principalement aux fins d'évaluation de politique (le modèle du merlu de Punt-Butterworth et les modèles élaborés par la CCAMLR pour établir le comportement de règles de rechange pour l'allocation spatiale de limites des prises de krill). Bien que plusieurs MRM aient été développés et publiés dans des ouvrages jugés par des pairs, ils ont rarement été utilisés comme fondement pour la prestation d'avis de gestion des pêches.

Table 1 contrasts three MRMs in terms of several factors. GADGET is, in general, the most flexible of these three MRMs while the Punt-Butterworth MRM is most tied to a specific application and is hence the most difficult to port to new situations. As expected, MRMs focus on predator-prey interactions (although they differ in terms of the extent to which lack of prey impacts predator growth rates) while they differ markedly in terms of the extent to which physical / environmental forcing can be represented in analysis. None of the models have an ability to account for habitat impacts. GADGET can allow temperature to impact a variety of biological processes (growth and maturity rates, movement, and predation) while MLMAK and the Punt-Butterworth MRM only consider environmental forcing by allowing for variation in recruitment about a stock-recruitment relationship.

Une comparaison de trois MRM est faite au tableau 3. En général, GADGET est le MRM le plus souple des trois, alors que le MRM de Punt-Butterworth est le plus difficile à appliquer à de nouvelles situations du fait qu'il est le plus spécifique. Comme prévu, les MRM sont axés sur les interactions prédateur-proie (bien qu'ils diffèrent par la mesure à laquelle le manque de proies a un effet sur le taux de croissance du prédateur), mais ils diffèrent grandement par la mesure à laquelle le forçage environnemental et/ou physique peut être représenté. Aucun de ces modèles ne peut tenir compte des incidences sur l'habitat. GADGET laisse la température avoir un effet sur une gamme de processus biologiques (taux de croissance et de maturité, déplacements et prédation), mais MLMAK et le MRM de Punt-Butterworth ne traitent le forçage environnemental qu'en autorisant une variation du recrutement autour d'une relation stock-recrutement.

The main advantage associated with MRMs is that, in general, they are multi-species extensions of single-species approaches so there is a "comfort level" (for decision makers and assessment scientists) associated with a (possible) transition from a single-species assessment approach to a multi-species assessment approach. For example, MLMAK is configured so that analyses can be conducted "with predation on" and "with predation off" to assess how allowing for predation impacts fits to the more traditional sources of data included in fisheries stock assessments. It also includes the ability to assess precision using techniques familiar to those who use single-species assessment methods (e.g. variances based on

Le principal avantage des MRM, c'est que, en général, ce sont des modèles d'espèces multiples élargis d'approches monospécifiques de sorte qu'un degré d'aisance (pour les décideurs et les scientifiques chargés d'évaluations) est associé à la transition (possible) d'une approche d'évaluation monospécifique à une approche plurispécifique. Par exemple, MLMAK est configuré de sorte que les analyses peuvent être menées avec et sans prédation, ce qui permet d'évaluer dans quelle mesure la considération des incidences de la prédation cadre avec les sources plus traditionnelles de données incluses dans les évaluations de stocks pêchés. Il permet également d'évaluer la précision, grâce à des techniques bien connues de ceux qui utilisent les méthodes

inverting the Hessian matrix and bootstrapping, and MCMC sampling to construct Bayesian posterior distributions). Moreover, by focusing on species for which there is management interest, there is generally less of a need to assume the values for a large number of parameters. Finally, the use of MRMs has been identified as a way to evaluate alternative harvest control rules and operational management procedures and hence to determine the impacts, in terms of the ability to achieve management objectives, of continuing to use single-species approaches for providing management advice in the face of multi-species interactions (Butterworth and Punt, 2003).

d'évaluation d'une espèce (p. ex. variances basées sur l'inversion de la matrice hessiane et l'auto-amorçage, et l'échantillonnage MCMC pour construire des distributions postérieures bayesiennes). En outre, en mettant l'accent sur des espèces d'intérêt pour les gestionnaires, il est généralement moins nécessaire de supposer les valeurs pour un grand nombre de paramètres. En dernier lieu, l'utilisation de MRM est considérée comme un moyen d'évaluer des règles de pêche et des mesures de gestion opérationnelles de rechange et donc d'établir leurs effets, en termes de la capacité d'atteindre les objectifs de gestion et de continuer à utiliser des approches monospécifiques pour formuler des avis de gestion en regard d'interactions plurispécifiques (Butterworth et Punt, 2003).

The disadvantages of MRMs are that: (a) it is hard to assess whether an MRM contains an adequate number of species / interactions to be sure that no important (and consequential) interactions are ignored, (b) even though MRMs are simpler than full ecosystem models, they nevertheless still have considerable data requirements, (c) MRMs are not general and cannot be used to examine several of the questions that are considered important within the scope of the ecosystem approach to fisheries unless they are tailored specifically for those questions, and (d) they are generally difficult to use (no user interfaces).

Les MRM ont les désavantages suivants : (a) il est difficile d'évaluer si un MRM comprend un nombre adéquat d'espèces / d'interactions et n'ignore pas des interactions importantes (indirectes), (b) même si les MRM sont plus simples que les modèles d'écosystème, ils requièrent quand même beaucoup de données, (c) les MRM n'étant pas de nature générale, ils ne peuvent pas être utilisés pour analyser plusieurs des questions considérées comme importantes au chapitre de l'approche écosystémique de gestion des pêches à moins d'être taillés sur mesure et (d) ils sont généralement difficiles à utiliser (aucune interface-utilisateur).

Table 1. Comparison of MLMAK, GADGET and the Punt-Butterworth (PB) MRM.

	MLMAK	GADGET	PB
Focus	Assessment	Assessment	Policy evaluation
# species	3	Unlimited	4
Age / size-structure	Age (although length data can be fitted)	Age-length structured	Some components
Spatial structure	No	Yes (including migration)	No
Environmental impacts	Limited to (random) deviations in recruitment	Temperature impacts several processes	Limited to (random) deviations in recruitment
Habitat impacts	No	No	No
Technical interactions	Implicitly	Yes	No
Data used for parameter estimation	Abundance indices, diet data, age/size-compositions	Abundance indices, diet data, age/size-compositions	Abundance indices, diet data
Representation of uncertainty	Bootstrap, Bayes, asymptotic variances, sensitivity analysis	Bootstrap, sensitivity analysis	Sensitivity analysis
Predation / competition			
Predator functions	Seven	Several	Holling Type II
Competition	Only indirectly	Only indirectly	Only indirectly
Bi-directional impacts	No	Yes	No

Tableau 1. Comparaison de *MLMAK, de GADGET et du MRM de Punt-Butterworth (PB).*

	MLMAK	GADGET	PB
Accent	Évaluation	Évaluation	Évaluation de politique
N^{bre} d'espèces	3	Illimité	4
Structure par âge/taille	Âge (des données sur la longueur peuvent être incluses)	Âge et taille	Certaines composantes
Structure spatiale	Non	Oui (y compris les migrations)	Non
Incidences environnementales	Limitées aux écarts (aléatoires) dans le recrutement	Incidences de la température sur plusieurs processus	Limitées aux écarts (aléatoires) dans le recrutement
Incidences sur l'habitat	Non	Non	Non
Interactions techniques	Implicitement	Oui	Non
Données utilisées pour estimer les paramètres	Indices d'abondance, données sur le régime alimentaire, composition par âge/taille	Indices d'abondance, données sur le régime alimentaire, composition par âge/taille	Indices d'abondance, données sur le régime alimentaire
Représentation de l'incertitude	Méthode bootstrap, méthode de Bayes, variance asymptotique, analyse de sensibilité	Méthode bootstrap, analyse de sensibilité	Analyse de sensibilité
Prédation/compétition			
Fonctions des prédateurs	7	Plusieurs	Holling, type II
Compétition	Indirectement	Indirectement	Indirectement
Incidences bidirectionnelles	Non	Oui	Non

Discussion

It was noted that these models tended to be ad hoc and designed to address specific problems (e.g. Punt-Butterworth model) and are usually user developed. GADGET models are more formal but many of the models are developed for research as opposed to address a general suite of problems. It would be important to develop approaches that could be taught in classes. Currently, there are no widely available courses on MSE for fisheries scientists which would help promote more widespread use of these techniques (although it was noted that MSE is being taught to students at a few universities). It was recognized that training people to do MSE is not easy. A few basic rules include the need to start with simple models to gain an understanding of how things work and to properly document the rules that are used.

In terms of more complex models, it was noted that Ecopath with Ecosim (EwE) was not considered an appropriate tool to conduct Management Strategy Evaluation (MSE) because it does not include age structure. However, technically, EwE can include age structure and the greater challenge is to link EwE to an assessment model as part of an MSE. For a very detailed MSE, Atlantis is the software to use although this requires a huge commitment in resources.

In MRM, bootstrapping can be conducted by sampling from the residuals.

Break-Out Group Discussion – MRMs

Minimum Realistic Models (MRM) do not constitute a single modelling approach. They are a family of modelling frameworks which share some commonalities. These common features include their multispecies/trophodynamic nature, the relatively small number of species considered, their focus on a small number of questions, and their emphasis on parameter estimation and assessment of uncertainty. MRMs are typically tailor-made for addressing specific issues in specific systems. This allows for a lot of flexibility in their design, and the processes and interactions considered. These very same features also hinder their generality.

Discussion

Ces modèles ont tendance à être ponctuels et à servir à l'analyse de problèmes bien déterminés (p. ex. modèle de Punt-Butterworth). Ils sont habituellement conçus par les utilisateurs. Les modèles GADGET sont plus formels, mais nombre d'entre eux sont élaborés à des fins de recherche plutôt que pour analyser une gamme de problèmes généraux. Il serait important de développer des approches qui pourraient être enseignées en classe. Aucun cours sur les ESG qui aiderait à promouvoir l'utilisation plus courante de ces techniques n'est largement offert aux halieutes à l'heure actuelle (par contre, les ESG sont enseignées à quelques universités). Il est reconnu que la formation en ESG n'est pas facile. Il faut commencer par utiliser des modèles simples pour comprendre comment ils fonctionnent et bien documenter les règles utilisées.

Les modèles complexes, comme Ecopath avec Ecosim (EwE), ne sont pas considérés comme un outil adéquat pour faire une ESG parce qu'ils ne tiennent pas compte de la structure par âge. Cependant, sur le plan technique, EwE peut en tenir compte. Le défi est d'établir un lien entre ce modèle et un modèle d'évaluation pour faire une ESG. Pour faire une ESG très détaillée, il faut utiliser le logiciel Atlantis, quoiqu'il requiert beaucoup de ressources.

On peut initialiser les MRM par échantillonnage des résidus.

Discussion en petits groupes - MRM

Les MRM ne sont pas une approche de modélisation simple. Ils constituent plutôt une famille de cadres de modélisation qui ont des éléments en commun, notamment leur nature plurispécifique/trophodynamique, le nombre relativement faible d'espèces considérées, l'accent mis sur un faible nombre de questions et la priorité accordée à l'estimation des paramètres et à l'évaluation de l'incertitude. Les MRM sont typiquement conçus sur mesure pour analyser des enjeux précis dans un système donné. Cela permet une grande souplesse dans leur conception, et les processus et interactions considérés. Par contre, ces caractéristiques entravent leur application générale.

Technical Expertise and Start-up Costs

MRMs typically lack user-friendly GUIs, and their implementation often requires an advance level of programming proficiency. Still, a good quantitative person can develop them if given enough time. Nonetheless, there are some modelling platforms currently available for implementing this type of model (e.g. Gadget).

Startup costs can be high both in terms of equipment and personnel, but these models are developed for addressing specific questions, and hence, their data demands are typically flexible. The models can be adapted to the available data.

Model Features

MRMs are often developed as multispecies extensions of single species approaches. Therefore, they typically can accommodate age and size structure without a problem. In some cases, they also include spatial structure and migration. Environmental forcing can also be added in different ways (e.g. allowance for recruitment variation, temperature impacts on biological processes), but the extent and detail of these effects is variable among different models. With reference to species interactions, a wide variety of functional response forms can be implemented. These models are typically fitted to time series data using maximum likelihood techniques, and can represent uncertainties in diverse ways.

Applicability

Current MRMs are typically designed for addressing fisheries management questions, but they can accommodate in a fairly straightforward way questions about species at risk. These types of models can be used for both tactical and strategic advice, but most common application of these type of models has been within the strategic realm.

Main Pros and Cons

The main advantages of these modelling approaches include a) their capacity for providing similar outputs as single species models which then allows for good communication with classical assessment scientists and managers and smooth transitions from single-species to

Compétence technique et frais initiaux

L'interface graphique des MRM n'étant typiquement pas conviviale, l'utilisation de ces modèles requiert une compétence poussée en programmation. Mais quelqu'un qui est bon sur le plan quantitatif peut en élaborer si suffisamment de temps lui est accordé. De plus, des plateformes de modélisation sont disponibles pour appliquer ce type de modèle (p. ex. GADGET).

Les frais initiaux en équipement et en personnel peuvent être élevés. Mais comme ces modèles sont élaborés pour répondre à des questions précises, les exigences en matière de données sont typiquement souples, les modèles pouvant être adaptés en regard des données disponibles.

Caractéristiques des modèles

Souvent, les MRM sont des élargissements plurispécifiques d'approches monospécifiques. On peut donc typiquement y inclure la structure par âge et par taille sans problème. Et, dans certains cas, on peut aussi y inclure la structure spatiale et les migrations. On peut également y ajouter le forçage environnemental de différentes manières (p. ex. prévision de la variation du recrutement, des effets de la température sur les processus biologiques), mais l'ampleur et les particularités de ces effets varient selon le modèle. Pour ce qui est des interactions interspécifiques, une vaste gamme de formes de réponse fonctionnelle peut être incluse. Ces modèles sont typiquement ajustés à des séries chronologiques de données à l'aide de méthodes de vraisemblance maximale et peuvent représenter les incertitudes de diverses manières.

Applicabilité

Les MRM courants sont typiquement utilisés pour analyser des questions de question des pêches, mais ils peuvent tenir compte de façon assez directe de questions sur des espèces en péril. Ces modèles peuvent servir à formuler des avis stratégiques et tactiques, mais ils servent le plus souvent à des fins stratégiques.

Principaux avantages et désavantages

Ces approches de modélisation comportent les grands avantages suivants : a) la capacité de fournir des résultats semblables aux modèles d'une espèce, ce qui permet de communiquer facilement avec les spécialistes des évaluations et les gestionnaires des pêches conventionnels et de

multispecies frameworks, b) these models can be fitted to time series using well known and accepted methods while providing good assessments of uncertainty, c) their focus on few, typically commercial, species minimizes the requirement of assuming a large number of parameters values.

The main disadvantage of these modelling approaches include a) the inability of determining if the species and interactions included are sufficient to properly address the questions posed, b) their tailor-made nature limits the portability of these models and the comparisons among models, and c) the lack of friendly interfaces and development environments often make them difficult to use.

MSVPA

Henrik Gislason, Danish Technical University, Denmark

Multispecies Virtual Population Analysis (MSVPA) is a deterministic age based fish stock model developed from the 'North Sea' model of Andersen and Ursin (1977). It consists of an ordinary single species VPA with a quarterly time step plus an equation describing predation mortality (Helgason and Gislason 1979, Gislason and Helgason 1985, Magnusson 1995). The predation on a given prey species and age group is calculated by multiplying the total per capita food intake of each predator species age group by the proportion of its food consisting of the prey species age group, summing up over all predator individuals. The proportion of a prey species age group in the diet of a predator is assumed to equal its biomass multiplied by a constant expressing its suitability as prey for the predator, divided by the sum over all prey species age groups of prey biomass times suitability (eq 1). The suitabilities are assumed to remain constant with time and are estimated iteratively within the model from observed diet compositions and estimated prey abundance. Species for which no catch at age data are available are lumped into either other food or other predators. The biomass of other food is assumed to be constant with time while the biomass of other predators has to be provided by the user. The constant other food assumption leads to a type II functional response. Predator growth is usually considered constant, but can be modelled as a function of prey biomass (Gislason 1999). MSVPA works retrospectively and determines historic fishing

faciliter la transition des cadres monospécifiques à des cadres plurispécifiques; b) des séries chronologiques peuvent y être calées en utilisant des méthodes reconnues et ils fourniront encore de bonnes évaluations de l'incertitude; et c) le fait que l'accent est mis sur quelques espèces, typiquement des espèces d'importance commerciale, minimise le besoin de tenir compte d'un grand nombre de paramètres.

Ces approches de modélisation comportent les grands désavantages suivants : a) l'incapacité de déterminer si les espèces et les interactions qui y sont incluses suffisent à répondre aux questions posées; b) leur nature sur mesure limite leur portabilité et leur comparaison; et c) l'absence d'interface conviviale et d'environ-nement de développement fait qu'elles sont souvent difficiles à utiliser.

MSVPA

Henrik Gislason, Danish Technical University, Danemark

L'analyse des populations virtuelles de plusieurs espèces (MSVPA) est un modèle déterministe, fondé sur l'âge, des stocks de poissons prenant assise sur le modèle de la mer du Nord conçu par Andersen et Ursin (1977). Elle se compose d'une AVP ordinaire d'une espèce avec un pas de temps trimestriel et une équation décrivant la mortalité due à la prédation (Helgason et Gislason, 1979; Gislason et Helgason, 1985; Magnusson, 1995). On calcule la prédation exercée sur une espèce-proie et l'un de ses groupes d'âge en multipliant la prise alimentaire totale par individu de chaque groupe d'âge de ses prédateurs par la proportion des aliments de ceux-ci se composant du groupe d'âge de l'espèce-proie à l'étude, puis en additionnant les valeurs obtenues. On suppose que la proportion du groupe d'âge de l'espèce-proie dans le régime alimentaire du prédateur est égale à la biomasse de ce groupe multipliée par une constante exprimant sa convenance comme proie, le produit étant ensuite divisé par le produit de la multiplication de la somme de la biomasse de tous les groupes d'âge de l'espèce-proie et de la convenance (eq. 1). On suppose que la convenance est constante dans le temps; elle est estimée de façon itérative dans le modèle à partir de la composition observée du régime alimentaire et de l'abondance estimée des proies. Les espèces pour lesquelles des données sur les prises selon l'âge ne sont pas disponibles sont regroupées soit comme aliments autres ou prédateurs autres. On suppose que la biomasse des aliments autres est constante dans le temps. La biomasse des

mortalities and stock sizes. Forward projections are made by a separate module, MSFOR, based on exactly the same assumptions. Predation can be switched off to enable comparisons between single and multispecies assessments. MSVPA is insensitive to the biomass of other food and generally dampens variations in input parameters.

$$D_s = \sum_{All\ predators\ j} Food_j \cdot \overline{N}_j \cdot \frac{SUIT_{s,j} \cdot \overline{N}_s \cdot \overline{w}_s}{\sum_{All\ prey\ i} SUIT_{i,j} \cdot \overline{N}_i \cdot \overline{w}_i} \Big/ \overline{w}_s \quad (1)$$

Where D_s = total number of prey item *s* eaten by all predators, $\overline{N}$ = mean number, $\overline{w}$ = mean weight, SUIT – suitability of prey "i" to predator "j".

Single species and MSVPA-based medium and long term predictions of fish biomass and yield often differ significantly (Pope 1991). Due to predation the natural mortality of the younger age groups is typically much higher in multispecies assessments than assumed in traditional single species VPA. When fishing mortality on a predator species is reduced its long term yield will in many cases decline due to increases in juvenile mortality caused by increases in predator biomass. Compared to single species predictions where a constant natural mortality is used for all ages, MSFOR predictions suggest that growth overfishing is unimportant leaving recruitment overfishing and the stock recruitment curve to be the overriding concern for management. MSVPA has been regularly used by ICES Working Groups in the North Sea and the Baltic, but the model has also been implemented in the Bering Sea (Livingston and Jurado-Molina 2000) and on Georges Bank (Tsou and Collie 2001). In the North Sea and the Baltic it has been used to evaluate the long term outcomes of changes in fishing mortalities and mesh sizes. It has also been used to evaluate rebuilding strategies for North Sea cod.

prédateurs autres doit être fournie par l'utisateur. L'hypothèse d'une source d'aliments autres constante mène à une réponse fonctionnelle de type II. La croissance des prédateurs est habituellement considérée comme étant constante, mais elle peut être modélisée comme une fonction de la biomasse des proies (Gislason, 1999). La MSVPA permet de déterminer les taux de mortalité et la taille des stocks par le passé. MSFOR, un module distinct centré exactement sur les mêmes hypothèses, permet de faire des projections en aval. La prédation peut être neutralisée de sorte à pouvoir comparer des évaluations d'une espèce et de plusieurs espèces. La MSVPA n'est pas sensible à la biomasse d'aliments autres et, en général, amortit les variations des paramètres d'entrée.

$$D_s = \sum_{All\ predators\ j} Food_j \cdot \overline{N}_j \cdot \frac{SUIT_{s,j} \cdot \overline{N}_s \cdot \overline{w}_s}{\sum_{All\ prey\ i} SUIT_{i,j} \cdot \overline{N}_i \cdot \overline{w}_i} \Big/ \overline{w}_s \quad (1)$$

D_s = nombre total de proies *s* mangées par tous les prédateurs, $\overline{N}$ = nombre moyen, $\overline{w}$ = poids moyen, SUIT – convenance de la proie « i » pour le prédateur « j ».

Il arrive souvent que les prévisions à moyen et à long termes de la biomasse de poissons et du rendement issues d'un modèle d'une espèce et d'une MSVPA diffèrent sensiblement (Pope, 1991). À cause de la prédation, la mortalité naturelle chez les jeunes groupes d'âge est typiquement beaucoup plus élevée dans les évaluations plurispécifiques qu'il ne l'est supposé dans les APV monospécifiques conventionnelles. Lorsque la mortalité d'un prédateur imputable à la pêche est réduite, son rendement à long terme diminuera dans de nombreux cas à cause de la mortalité des juvéniles due à l'augmentation de la biomasse de prédateurs. En comparaison des prédictions pour une espèce, pour lesquelles un taux de mortalité naturelle constant pour tous les âges est utilisé, les prévisions MSFOR donnent à penser que la surpêche économique n'est pas importante, ce qui laisse comme préoccupations dominantes aux gestionnaires la supêche du potentiel reproducteur et la courbe de recrutement au stock. Les groupes de travail du CIEM appliquent régulièrement la MSVPA à la mer du Nord et à la mer Baltique, et il a aussi été appliqué à la mer de Béring (Livingston et Jurado-Molina, 2000) et au banc Georges (Tsou et Collie, 2001). Pour la mer du Nord et la mer Baltique, il a servi à évaluer les conséquences à long terme de changements dans les taux de mortalité par pêche et les maillages, et pour la mer du Nord, à évaluer des stratégies de rétablissement

The ability of the MSVPA to describe changes in predator diets over time and the constant suitability hypothesis have been examined by analysing more than 200 000 fish stomachs from the North Sea. Fitting the model to different parts of this data confirm that suitabilities remain relatively constant across years as assumed in the model (Rice et al. 2001). However, subsequent analysis has shown that negative prey switching, where predator diets are relatively insensitive to changes in prey abundance, improve the better fit to the observed food compositions. This has later been confirmed by comparing the relative prey composition in 36000 cod and whiting stomachs with the local relative prey abundance estimated from trawl catches (Rindorf et al. 2006). Fish stomach contents are highly variable and the results from stomach sampling programs stress the need for careful consideration of the number of necessary samples to detect significant changes in diet composition with time. A variety of food selection models have been proposed in marine ecosystem models and there is an urgent need to collect the information necessary to identify the most appropriate model for a given system.

MSVPA has recently been further developed into stochastic versions, MSM (Jurado-Molina 2004) and SMS (Lewy and Vinther 2004). Both models contain additional useful features for management strategy evaluation and hypothesis testing.

Discussion

MSVPA is not being used in routine stock assessments however some of the parameters that it estimates are used (e.g. M). In some cases, results can differ from single species assessments.

These are generally data hungry models which require a large number of diet samples. The model can accommodate switching in diets but some modifications are required. It was considered to be better to collect large numbers of stomachs in given years periodically (e.g. Year of the Stomach). Generally, inter-annual variation in diet information is not large. While the data

pour la morue.

On a évalué la capacité de la MSVPA de décrire les changements dans le régime alimentaire des prédateurs au fil du temps et l'hypothèse de la convenance constante en analysant plus de 200 000 estomacs de poissons pris dans la mer du Nord. L'ajustement du modèle à différents groupes de ces données a permis de confirmer que la convenance demeure relativement constante entre les années, comme le modèle le suppose (Rice *et al.*, 2001). Une analyse ultérieure a toutefois révélé qu'un changement négatif de proie, c'est-à-dire lorsque le régime alimentaire des prédateurs est relativement insensible aux changements dans l'abondance des proies, améliore l'ajustement du modèle à la composition observée du régime. Une comparaison de la composition relative des proies trouvées dans 36 000 estomacs de morue et de merlan et de l'abondance locale relative des proies estimée d'après des relevés au chalut a permis de le confirmer (Rindorf *et al.*, 2006). Les contenus stomacaux de poissons varient fortement, et les résultats des programmes d'échantillonnage des estomacs confirment le besoin d'établir soigneusement le nombre d'échantillons nécessaires pour déceler des changements importants dans la composition du régime alimentaire au fil du temps. Une gamme de modèles de choix d'aliments ont été proposés pour les modèles d'écosystème marin, et il presse de recueillir les données nécessaires pour identifier le modèle le plus approprié pour un système donné.

MSM (Jurado-Molina, 2004) et SMS (Lewy et Vinther, 2004) sont de récentes versions stochastiques de la MSVPA. Ces deux modèles ont des caractéristiques additionnelles utiles aux fins d'ESG et de vérification d'hypothèse.

Discussion

La MSVPA n'est pas utilisée dans les évaluations de stock ordinaires, mais certains des paramètres qu'elle estime le sont (p. ex. M). Dans certains cas, les résultats peuvent être différents de ceux d'évaluations monospécifiques.

En général, ces modèles requièrent beaucoup de données, et donc un grand nombre d'échantillons d'estomac. Ils peuvent tenir compte d'un changement de régime alimentaire, mais des modifications sont requises. On considère qu'il est mieux de prélever périodiquement un grand nombre d'estomacs dans des années données (p. ex. années des estomacs). Peu d'information

requirements are large, collecting diet data is not as fastidious as often believed. Collection of diet data are made on a regular basis on NMFS demersal surveys.

est généralement disponible sur la variation inter-annuelle dans les régimes alimentaires. Bien que les besoins en données soient grands, la collecte de données sur l'alimentation n'est pas aussi exigeante qu'on le croit souvent. De telles données sont recueillies régulièrement dans le cadre des relevés démersaux du NMFS.

Break-Out Group Discussion – MSVPA Models

Discussion en petit groupe – MSVPA

MSVPA is a natural extension of VPA commonly used to assess single species populations and as such its structure is quite familiar to stock assessment scientists. Fitting procedures are also quite similar to VPA models and the common assumptions of terminal F, ad hoc tuning and catchability models apply to these models. For this reason, MSVPA is a modelling approach which can be easily understood and adapted by an experience stock assessment scientist and most fisheries laboratories have these staff already. The major new aspect of MSVPA comes with dynamically modelling a predation component of natural mortality.

La MSVPA est un élargissement naturel de l'APV fréquemment utilisée pour l'évaluation de populations d'une espèce et, à ce titre, est bien connue des spécialistes de l'évaluation de stock. Les procédures d'ajustement ressemblent en outre beaucoup à celles des modèles d'AVP, et les hypothèses communes d'un F terminal, le réglage ponctuel et les modèles de capturabilité s'y appliquent. Pour ces raisons, il sera facile aux spécialistes des évaluations de stock de comprendre cette approche de modélisation; la plupart des laboratoires des pêches comptent déjà de tels spécialistes parmi leurs effectifs. La modélisation dynamique de la composante prédation de la mortalité naturelle est le principal aspect nouveau de la MSVPA.

MSVPA has been implemented in many different platforms, e.g. Fortran, C, Excel some of which are more easily followed than others. The model fitting itself is usually very quick especially with present day hardware. MSVPA has more recently been modified as a stochastic model, also to include bottom-up forcing, i.e. food limitation for predators which affects their growth rate. A recent implementation of MSVPA (MSVPA-x) by Lance Garrison of the US National Marine Fisheries Service has a more user friendly interface than some previous implementations of the model.

La MSVPA est traduite sur différentes plates-formes, p. ex. Fortran, C, Excel, certaines plus faciles à suivre que d'autres. Grâce au matériel informatique moderne, l'ajustement du modèle est habituellement très rapide. La MSVPA a récemment été modifiée en modèle stochastique pour y inclure le forçage ascendant, c.-à-d. la disponibilité limitée de proies agissant sur le taux de croissance des prédateurs. Une récente version de la MSVPA (MSVPA-x), élaborée par Lance Garrison, du NMFS, a une interface plus conviviale que certaines versions antérieures.

Because MSVPA is a familiar model structure using mostly standard fisheries input data and can be utilised by an experienced fisheries scientist, the startup costs for staff training are minimal. On the other hand, modelling predation mortality is very data demanding. Every species included in the MSVPA needs to have data on diet to provide an estimate of the magnitude of predatory interactions between species. This is a very expensive data requirement that for the North Sea cost millions of dollars to collect in the two international years of the stomach (1981 and 1991); this data set is still considered insufficient in many cases to quantify the strength of interaction between some predator-prey pairs.

Parce que la MSVPA est un modèle connu qui fait appel à des données d'entrée sur les pêches ordinaires et qui peut être utilisé par un halieute chevronné, les coûts de formation du personnel sont minimes. Par contre, la modélisation de la mortalité due à la prédation exige beaucoup de données. Des données sur le régime alimentaire de chaque espèce incluse dans la MSVPA sont requises pour obtenir une estimation de l'ampleur des interactions prédatrices entre espèces. La cueillette de ces données est très dispendieuse. Bien que des millions de dollars aient été engagés dans la collecte de données sur la mer du Nord pendant les deux années internationales de l'estomac (1981 et 1991), ces séries de données

Very few fisheries laboratories have the resources or even the desire to funnel such a large amount of resources into data of this nature. One can however, go some distance in parameterising predatory interactions with smaller amounts of data combined with allometric models and life-history-based reasoning. A further difficulty with MSVPA is that it is usually implemented on a quarterly time step which further increases data demands. Even without running a predation mortality component it would demand quarterly catch and CPUE data in addition to the need for quarterly diet data, the model data demands can be extraordinary. One of the main reasons for the quarterly time-step in MSVPA is to prevent 0-group predation which could include cannibalism. Such is a reality in the North Sea where 0-group fish grow quickly and can be predators upon slower growing individuals of their own year class. Cannibalistic interactions can lead to non-unique solutions in MSVPA.

sont encore considérées comme étant insuffisantes pour quantifier l'ampleur de l'interaction entre certaines paires prédateur-proie. Très peu de laboratoires des pêches ont les ressources ou même la volonté d'en consacrer une telle quantité à la collecte de ce type de données. On peut toutefois paramétrer dans une certaine mesure les interactions prédatrices avec des quantités moindres de données, lorsque combinées à des modèles allométriques et à un raisonnement du cycle vital. Un autre problème avec la MSVPA, c'est que le pas de temps est trimestriel, ce qui accroît encore les besoins en données. Même si la composante mortalité par prédation n'est pas passée, des données trimestrielles sur les PUE et les prises sont encore requises, en plus de données trimestrielles sur le régime alimentaire. Les besoins du modèle en données peuvent être incroyables. Le pas de temps trimestriel de la MSVPA vise à prévenir la prédation sur le groupe d'âge 0, qui pourrait inclure le cannibalisme. C'est le cas dans la mer du Nord, où les poissons d'âge 0 grossissent vite et peuvent exercer une prédation sur les individus de croissance lente de leur propre classe d'âge. Les interactions cannibaliques peuvent mener à des solutions qui ne sont pas uniques.

Presently, MSVPA can be fully applied in only a few systems: the North Sea, Baltic Sea, Northeast US shelf, because of its large data requirements, or because of the relative simplicity of the system in the case of the Baltic Sea. It could be applied more widely to other well studied systems off North America and Europe with more assumptions for parameterisation but this has generally not been done.

La MSVPA ne peut être pleinement appliquée à l'heure actuelle qu'à quelques systèmes (plateau du nord-est des États-Unis, mer du Nord, mer Baltique) à cause de ses fortes exigences en données ou de la simplicité relative du système, comme dans le cas de la mer du Nord. Elle pourrait être appliquée plus généralement à d'autres systèmes bien étudiés du large de l'Amérique du Nord et de l'Europe avec un plus grand nombre d'hypothèses pour le paramétrage, mais cela n'a généralement pas été fait.

Pros: most inputs and outputs are similar to those in single species age-based assessment models, thus inputs are generally available and both inputs and outputs are familiar. It can be run by experienced assessment scientists without specialised training in the model. It gives very precise answers and sometimes counter-intuitive, yet explicable, results deriving from food web interactions which simple single species models will not show. MSVPA exists already coded in many different implementations that can often be obtained freely from the researchers who have developed them.

Avantages : La plupart des entrées et des sorties sont semblables à celles des modèles d'évaluation d'une espèce centrés sur l'âge; les entrées sont donc généralement disponibles, et les entrées et les sorties sont connues. Les scientifiques chevronnés n'ont pas besoin d'une formation spécialisée pour passer la MSVPA. Elle donne des réponses très précises et des résultats parfois contraires à l'intuition et pourtant explicables, découlant d'interactions trophiques que les modèles monospécifiques simples ne donneront pas. La MSVPA est déjà codée en plusieurs versions que l'on peut obtenir des chercheurs qui les ont élaborées.

Cons: Perhaps the greatest drawback of MSVPA is its intense data demands, particularly for diet

Désavantages : La grande quantité de données que requiert la MSVPA, en particulier des données

information of all species at appropriate temporal and spatial scales. MSVPA in its most common form includes only predation impacts on populations and not food limitation impacts. This has been added to the model however it has been explored even less than the original model. In most forms, MSVPA is a deterministic model that produces precise answers without a strong accounting for uncertainty. In more recent years, this aspect of MSVPA has been addressed through development of a Stochastic Multi-Species model (SMS) but this model is not as easily implemented as classical MSVPA.

In Canada, there has not been any application of MSVPA in earnest, though there is potential for this. The relatively low diversity of systems such as the Eastern Newfoundland shelf and the Northern Gulf of St. Lawrence combined with a large amount of data collected for both systems means that they are potential areas for application of MSVPA. Some of the higher diversity systems in the Pacific may have too many complex interactions to capture in MSVPA given the dataset available to parameterise it presently.

***OSMOSE** (**O**bject-oriented **S**imulator of **M**arine ec**OS**ystems **E**xploitation)*
Yunne-Jae Shin, IRD, Sète, France

The Osmose model is a multispecies and Individual-based model (IBM) which focuses on fish species (Shin and Cury 2001, 2004). This model assumes opportunistic predation based on spatial co-occurrence and size adequacy between a predator and its prey (size-based opportunistic predation). It represents fish individuals grouped in schools, which are characterized by their size, weight, age, taxonomy and geographical location (2D model), and which undergo different processes of fish life cycle (growth, explicit predation, natural and starvation mortalities, reproduction and migration) and a fishing mortality distinct for each species. Osmose was first applied to the Benguela upwelling ecosystem for which 12 fish species have been specified, from small pelagic fish to large demersal species (Shin et al. 2004, Travers et al. 2006). The model is also being applied in the Humboldt ecosystem (Marzloff, Shin et al. in prep.) and in the Moroccan ecosystem (Masski, Shin et al. in prep.). The model needs basic

sur le régime alimentaire de toutes les espèces aux échelles temporelle et spatiale appropriées, est probablement son plus grand désavantage. Dans sa forme la plus commune, la MSVPA inclut seulement les effets de la prédation sur les populations et non les effets de la quantité limitée de nourriture. Ces derniers effets ont été ajoutés au modèle, mais ils ont été analysés encore moins que dans le modèle original. Dans la plupart de ses formes, la MSVPA est un modèle déterministe qui produit des réponses précises ne tenant pas beaucoup compte de l'incertitude. Un modèle stochastique plurispécifique a été élaboré dans les dernières années pour en tenir compte, mais ce modèle n'est pas aussi facile à appliquer que la MSVPA classique.

Aucune tentative sérieuse d'application de la MSPVA n'a été faite au Canada, mais nous pourrions le faire. La diversité relativement faible des systèmes, tels le nord du golfe du Saint-Laurent et le plateau de l'est de Terre-Neuve, et la grande quantité de données qui y ont été recueillies signifient qu'ils pourraient être soumis à une MSVPA. Il se peut que le trop grand nombre d'interactions complexes dans certains systèmes hautement diversifiés du Pacifique ne permet pas de les saisir dans une MSVPA étant donné les séries de données actuellement disponibles pour les paramétrer.

***OSMOSE** (**O**bject-oriented **S**imulator of **M**arine ec**OS**ystems **E**xploitation)*
Yunne-Jae Shin, IRD, Sète, France

Le modèle OSMOSE est un modèle plurispécifique individus-centré (IBM) mettant l'accent sur les poissons (Shin et Cury, 2001; 2004). Il suppose une prédation opportuniste centrée sur la présence spatiale simultanée et la taille convenable du prédateur et de ses proies (prédation opportuniste centrée sur la taille). Il représente les individus regroupés en bancs, caractérisés par leurs taille, poids, âge, taxinomie et emplacement géographique (modèle bidimensionnel) et passant par les différentes étapes du cycle vital (croissance, prédation, mortalité naturelle, famine, reproduction et migration). Le niveau de mortalité par pêche de chaque espèce est différent. OSMOSE a été appliqué pour la première fois à l'écosystème d'upwelling du courant du Benguela, pour lequel 12 espèces de poissons ont été identifiées, de petits pélagiques à de gros démersaux (Shin *et al.*, 2004; Travers *et al.*, 2006). Le modèle est en voie d'être appliqué à l'écosystème du courant de Humboldt (Marzloff, Shin *et al.*, en prép.) et à un écosystème du Maroc (Masski, Shin *et al.*, en

parameters that are often available for a wide range of species, and which can be found in FishBase for instance (www.fishbase.org): growth (von Bertalanffy model) and reproduction parameters. It also needs to be forced by spatial distribution maps for each species, by stage and by season.

In output, a variety of size-based and species-based ecological indicators can be simulated and confronted with in situ data (surveys and catch data) at different levels of aggregation: at the species level (mean size, mean size-at-age, max size, mean trophic level, within-species distribution of TL), and at the community level (slope and intercept of size spectrum, W statistic of ABC curves, Shannon diversity index, mean TL). The model can be calibrated with observed biomass, using genetic algorithms (Versmisse et al. submitted to Ecological Modelling).

The coupling process used to link Osmose and lower trophic level (LTL) models (NPZD-ROMS: 2-way coupling with Osmose effective, ERSEM: coupling in project) is the predation process. The LTL model is used as a prey field for the HTL model (concentration of nitrogen/carbon concentrations, converted into wet biomass) and the HTL model provides a predation pressure field for the LTL model. In this first step in the coupling process, other processes linked to the detritus or nutrients boxes are not explicit (egestion, excretion, natural mortality), unless sensible parameterization can be obtained (currently not the case for all the fish species considered).

Discussion

OSMOSE does not include in its current version differences in assimilation efficiencies and prey energy content, but is a good point and has been considered for implementation. NPZ models are not fully integrated within OSMOSE due to parameterization issues. A genetic algorithm is used to calibrate the model, but this is just one possible way of doing it. Time steps are different according to life history (e.g. 1 day for zooplankton, 1 week for fish). Standard simulations are for 20 years into the future. Starvation is a key component for model stability, but its importance is species and system dependent.

prép.). Les paramètres de base requis sont souvent disponibles pour une vaste gamme d'espèces dans FishBase (www.fishbase.org), par exemple les paramètres de croissance (modèle de von Bertalanffy) et de reproduction. Des cartes de répartition spatiale de chaque espèce, selon le stade de vie et la saison, sont également requises pour forcer le modèle.

Dans la sortie du modèle, on peut simuler une gamme d'indicateurs écologiques centrés sur la taille et l'espèce et les confronter avec des données recueillies sur place (relevés et données sur les prises) à différents niveaux d'agrégation : au niveau de l'espèce (taille moyenne, taille moyenne selon l'âge, taille maximale, niveau trophique moyen, répartition par LT) et de la communauté (pente et point d'intersection du spectre de taille, W des courbes ABC, indice de diversité de Shannon, LT moyenne). Le modèle peut être étalonné avec la biomasse observée, en utilisant des algorithmes génétiques (Versmisse *et al.*, article soumis à *Ecological Modelling*).

La prédation est le processus qui sert à coupler OSMOSE à des modèles de niveau trophique inférieur (LTL) (NPZD-ROMS : couplage à deux sens avec OSMOSE, ERSEM : couplage en projet). Le modèle LTL est utilisé comme un champ de proies pour le modèle HTL (teneurs en azote/carbone converties en biomasse humide) et ce dernier fournit au premier un champ de la pression exercée par la prédation. À cette première étape du processus de couplage, d'autres processus liés aux boîtes des débris ou des éléments nutritifs ne sont pas explicites (expulsion, excrétion, mortalité naturelle), à moins d'obtenir un paramétrage raisonnable (ce qui n'est actuellement pas le cas pour toutes les espèces de poissons considérées).

Discussion

La version courante d'OSMOSE n'inclut pas les différences dans l'efficacité d'assimilation et de la teneur en énergie des proies. C'est un bon point, et son inclusion dans le modèle a été considérée. Les modèles NPZ ne sont pas pleinement intégrés dans OSMOSE à cause de problèmes de paramétrage. Un algorithme génétique est utilisé pour étalonner le modèle, mais ce n'est qu'un des moyens de le faire. Les pas de temps diffèrent selon le cycle vital (p. ex. un jour pour le zooplancton, deux jours le poisson). Les simulations s'étendent sur une période future de 20 ans. La famine est un élément indispensable à la stabilité du modèle, mais son importance dépend

In terms of management applications the current model already includes seasonal effects, mesh sizes and fishing mortality. This model is currently being used for exploring MPA design and performance.

You need a team of people to fully realize the model potential for a 2-way coupled Osmose-NPZD model. This model allows the exploration of scenarios, but this cannot be done by one person working alone. In DFO we have the people and the tool, but we need to assemble the teams. The uncoupled model Osmose (centered on fish) can be parameterized and run by one person.

The code for this model is written in JAVA and it will be available as open source next year. The choice of language was due to its object-oriented nature, it could have been C++ too. The object-oriented structure and the defined classes provide an almost natural way of interpreting and developing the models. The current event schedule of 2 weeks is not a big issue, but could be a problem if longer steps are used.

Break-Out Group Discussion - OSMOSE

IBM, or Individual-Based Models follow the fate of an "agent" through its life history, from egg to adult. Agents can be single individuals, schools of fish, fishing fleets, or even habitat areas. Originally conceived for single species analyses, they have been extended into the multispecies context. IBMs are a very flexible modelling tool and are infinitely extensible given their individual structure. We focussed on one specific application, OSMOSE (Object-oriented Simulator of Marine ecOSystem Exploitation, Shin and Cury, 2001; Shin, Shannon and Cury, 2004), a spatially explicit IBM. It is a heuristic and strategic tool; it is not currently useful for tactical advice, although simpler IBMs can be used tactically.

There is no pre-packaged, user friendly version of OSMOSE: essentially this approach requires fairly advanced programming skills if processes or additional modules are to be modified or programmed. Although the input data are conceptually intuitive, the outputs can be complicated and large, and there is no standardized output package. The data can be analysed in Excel or R. However, it is an accessible method with the necessary

de l'espèce et du système.

Sur le plan des applications pour la gestion, le modèle courant inclut déjà les effets saisonniers, le maillage et la mortalité par pêche. Il est actuellement utilisé pour analyser la conception et le rendement des ZPA.

Une équipe est requise pour pleinement réaliser le potentiel du modèle OSMOSE-NPZD couplé à deux sens. Ce modèle permet d'analyser des scénarios, mais il est impossible à une personne seule de le faire. Au MPO, nous avons du monde et l'outil, mais nous devons mettre les équipes sur pied. Le modèle OSMOSE non couplé (centré sur les poissons) peut être paramétré et passé par une personne.

Le code de ce modèle est écrit en Java. Il sera disponible gratuitement l'an prochain. Le choix de langage a été dicté par sa nature orientée objets; il pourrait tout aussi bien avoir été écrit en C++. La structure orientée objets et les classes définies fournissent un moyen presque naturel d'interpréter et de bâtir les modèles. Le pas de temps de deux semaines n'est pas un gros problème, mais il pourrait l'être si des pas plus longs sont utilisés.

Discussion en petits groupes – OSMOSE

Les IBM suivent le devenir d'un « agent » au fil de son cycle vital, de l'oeuf à l'adulte. Les agents peuvent être un individu, des bancs de poissons, des flottilles de pêche ou même des parcelles d'habitat. Conçus à l'origine pour les analyses monospécifiques, ils ont été étendus à un contexte plurispécifique. Les IBM sont un outil de modélisation très souple et peuvent être étendus à l'infini étant donné leur structure centrée-individus. Nous avons mis l'accent sur une application particulière, OSMOSE (Shin et Cury, 2001; Shin, Shannon et Cury, 2004), un IBM spatialement explicite. Étant un outil heuristique et stratégique, il n'est pas utile à ce moment-ci pour formuler des avis tactiques, bien que des IBM plus simples peuvent être utilisés à cette fin.

Il n'existe aucune version conviviale clé en main d'OSMOSE; cette approche requiert avant tout des compétences assez avancées en programmation si l'on veut modifier des processus ou programmer des modules additionnels. Bien que les données d'entrée soient guidées par des concepts, les extrants peuvent être compliqués et volumineux. Ils peuvent être analysés dans Excel ou R. Il reste que c'est un outil facile à utiliser si l'on possède les compétences en programmation nécessaires

programming skills (OSMOSE is written in Java). For example, a M.Sc. student, with close supervision, took 6 months from start to finish to complete an OSMOSE model. Start-up costs need not be high, provided the required data and expertise is available.

(OSMOSE est écrit en Java). Par exemple, un candidat à la maîtrise, étroitement supervisé, a pris six mois pour bâtir un modèle OSMOSE. Les coûts de démarrage ne sont pas élevés, pourvu que les données et les compétences requises soient disponibles.

The data requirements for OSMOSE are moderate to large and include spatial distribution, growth, reproduction, survival and migration parameters. For conceptual use, spatial information at a coarse time scale (mean annual spatial distribution for example) may be appropriate, but for more specific uses, significant spatial data would be required depending on the seasonal variability (spatial maps to be provided every 6 or 3-months period). Calibrating OSMOSE can have significant computer requirements, but running OSMOSE is quite economical.

OSMOSE requiert un volume de données (répartition spatiale, croissance, migration, survie, reproduction) allant de moyen à grand. Pour sa conception, des données spatiales à une échelle de temps grossière (p. ex. répartition spatiale annuelle moyenne) peuvent être appropriées, mais pour des utilisations plus précises, une importante quantité de données spatiales seront requises selon la variabilité spatiale (fourniture de cartes spatiales à chaque période de trois ou de six mois). L'étalonnage d'OSMOSE peut nécessiter une grande capacité informatique, mais son passage est assez économique.

The main assumptions of the approach are that individual, or agent behaviour has a significant effect on population behaviour. Other assumptions relate to feeding, growth and reproduction, including a minimal predator-prey size ratio and a fixed maximum ration per body weight, which does not take into account changes in temperature or season, von Bertalanffy growth, and a linear fecundity relationship.

La principale hypothèse de l'approche est que le comportement de l'individu, ou l'agent, a un effet important sur le comportement de la population. Les autres hypothèses ont trait à l'alimentation, à la croissance et à la reproduction, y compris un rapport de taille minimale entre les prédateurs et leurs proies et une ration maximale fixe selon le poids corporel. Cette ration ne tient pas compte des changements dans la température ou de saison, de la croissance selon le modèle d'ajustement de von Bertalanffy et d'une relation de fécondité linéaire.

OSMOSE handles both size and age structure. It models species interactions such as predation directly. The functional response is an emergent property, fish have a fixed maximum ration and starvation can occur. OSMOSE can be used to explore size-related questions, such as the effects of fishing on size spectra, or the degree to which predation is size limited. Unlike models such as MSVPA and EwE, predators and prey must co-occur spatially and be within a specific size relationship.

OSMOSE tient compte de la structure par taille et par âge. Il modélise directement les interactions entre espèces, comme la prédation. La réaction fonctionnelle est une propriété émergente, les poissons ont une ration maximale fixe et la famine peut se produire. OSMOSE peut être utilisé pour analyser des questions reliées à la taille, comme les effets de la pêche sur des fourchettes de tailles ou le degré auquel la taille limite la prédation. Au contraire des modèles MSVPA et EwE, dans OSMOSE, les prédateurs et leurs proies doivent être présents simultanément et s'inscrire dans un rapport de tailles précis.

Migration is implicitly taken into account by forcing the model with seasonal distribution maps, but the process itself is not modelled. Physical and chemical forcing can be incorporated, though most of the focus to date has been on the higher trophic levels. Work in progress includes coupling OSMOSE with NPZD-ROMS models to address questions concerning environmental forcing and ecosystem functioning. Uncertainty in parameters is explored through

Le forçage du modèle avec des cartes de répartition saisonnière permet de prendre la migration implicitement en charge, mais le processus n'est pas modélisé. Le forçage physique et chimique peut y être incorporé, bien que l'accent jusqu'à maintenant ait été mis surtout sur les niveaux trophiques supérieurs. Des travaux de couplage d'OSMOSE et des modèles NPZD-ROMS en vue de répondre aux questions sur le fonctionnement d'écosystème et le forçage environnemental sont

sensitivity analysis.

OSMOSE is portable to other ecosystems and can be used to address management questions such as MPAs, although it has not yet been used for management purposes. It can be used to explore reference points for community indicators such as trophic levels, biomass or size spectra or community mean length, but it is less useful for addressing single species reference points. It can also be used to test scenarios such as seasonal closures, age or size of recruitment.

In its current application, OSMOSE cannot be used to develop harvest control rules because it does not contain a fishing module as such. However, OSMOSE is modular in structure, allowing the model to be extended in areas of interest. The inclusion of a fishing model, and thus the extension of OSMOSE to harvest control rule questions is a feasible future development. It cannot be used for determining likelihood of failure. Nor can it be used to simulate high level objectives from diverse stakeholders, although IBMs in general could be used in this way.

Advantages of OSMOSE include its modular structure and capacity for further extension, its emergent properties (predation selectivity, functional response, stock recruitment relationships), process driven, application to spatial management, evaluation of community level indicators, and the agent/individual keeps their history. Disadvantages include that it is relatively non-user friendly (considerable computing skills required to modify the model), lack of rigorous evaluation of uncertainty, moderate data requirements, hardwired, difficult to programme. It is a flexible tool which can handle low species abundances and therefore may be applicable to species at risk questions. It may also be applicable to habitat questions, invasive species, and impacts of aquaculture.

Bioenergetic Models for Ecosystem-Based Management

David Vasseur, University of Calgary, Canada

Bioenergetic models use energy as a common currency with which to model the interactions between species (energy flows) and to describe the abundance of all species at any moment in

en cours, ainsi qu'une analyse de sensibilité pour établir l'incertitude entourant les paramètres.

OSMOSE est portable. On peut l'appliquer à d'autres écosystème et l'utiliser pour analyser des questions de gestion comme les ZPM, mais on ne l'a pas encore utilisé à des fins de gestion. On peut s'en servir pour explorer des points de référence pour des indicateurs de communauté, tels niveaux trophiques, biomasse, longueur moyenne ou spectres de taille, mais il s,applique moins à des points de référence pour une seule espèce. On peut aussi s'en servir pour tester des scénarios, comme des fermetures saisonnières, et l'âge ou la taille au recrutement.

Dans sa forme actuelle, OSMOSE ne peut pas être utilisé pour élaborer des règles de pêche parce qu'il ne contient pas un module de pêche. Mais comme il est de structure modulaire, il peut être élargi aux zones d'intérêt. L'inclusion d'un module de pêche, qui permettra d'élargir le modèle aux questions de règles de pêche, est donc une possibilité de développement. OSMOSE ne peut pas être utilisé pour déterminer la vraisemblance d'échec, ni pour simuler des objectifs de haut niveau de divers intervenants, bien que, en général, les IBM pourraient être utilisés à cette fin.

La structure modulaire d'OSMOSE, la possibilité de l'élargir davantage, ses propriétés émergentes (sélectivité de la prédation, réponse fonctionnelle, relations stock-recrutement), ainsi que le fait qu'il soit piloté par processus, qu'il peut être appliqué aux fins de gestion spatiale et d'évaluation d'indicateurs de communautés et que l'histoire de l'agent/l'individu est préservée sont ses avantages. Par contre, il n'est pas convivial (il faut beaucoup de compétences en informatique pour le modifier), il ne permet pas une évaluation rigoureuse de l'incertitude et ses exigences en données sont modérées; il est en outre câblé et difficile à programmer. C'est un outil souple qui peut traiter de faibles abondances d'espèce et donc peut être appliqué à des questions d'espèces en péril. Il peut aussi être utilisé aux fins d'analyse de problèmes d'habitat, d'espèces envahissantes et d'impacts de l'aquaculture.

Modèles bioénergétiques pour la gestion écosystémique

David Vasseur, University of Calgary, Canada

Les modèles bioénergétiques utilisent l'énergie comme élément commun pour la modélisation des interactions interspécifiques (transfert d'énergie) et la description de l'abondance de toutes les espèces

time (energy bound in biomass). The backbone of the model is a flexible system of ordinary differential equations which describe the rates of change of species' biomass with respect to time; the dynamics of each species is represented by a single differential equation, linked explicitly to the dynamics of other species via feeding links (functional responses). The mathematical representation of these interaction terms is flexible, allowing users to test and evaluate a range of assumptions about species interactions.

à n'importe quel moment (énergie de la biomasse). Le squelette du modèle est un système souple d'équations différentielles ordinaires qui décrit les taux de variation de la biomasse des espèces en fonction du temps; la dynamique de chaque espèce est représentée par une seule équation différentielle, liée explicitement à la dynamique d'autres espèces par des liens d'alimentation (réponses fonctionnelles). La représentation mathématique de ces termes d'interaction est souple, ce qui permet aux utilisateurs de tester et d'évaluer une gamme d'hypothèses sur les interactions interspécifiques.

The common energetic currency of bioenergetic models allows many parameters to be directly estimated or bounded by allometric relationships. Allometric relationships provide a relationship between the body size of an individual and many rates which are vital to describing population dynamics (e.g. metabolism/ingestion/production rates). These relationships take the form of a power law, $y = a \cdot m^b$, where m is the body mass of an individual, b is the scaling exponent (≈ 0.75 for a large variety of population rates), a is an intercept and y is the rate parameter. Assuming that a single body size can be used to represent each species in the model (e.g. the mean body size of the population) the upper bounds on the growth rates of basal species, on the ingestion rates and metabolic rates of non-basal species can be specified, reducing the number of parameters which must be independently estimated, or estimated through model fitting.

L'élément d'énergie commun des modèles bioénergétiques permet d'estimer ou de délimiter directement de nombreux paramètres par des relations allométriques, qui permettent d'établir une relation entre la taille du corps d'un individu et de nombreux taux qui sont vitaux pour décrire la dynamique des populations (taux de production, taux d'alimentation, vitesse de métabolisme). Ces relations prennent la forme d'une loi de puissance, soit $y = a\, m^b$, où m est la masse corporelle d'un individu, b est l'exposant d'échelle ($\approx 0{,}75$ pour une vaste gamme de taux démographiques), a est un point d'interception et y est le paramètre du taux. Dans l'hypothèse qu'une seule taille du corps peut être utilisée pour représenter chaque espèce dans le modèle (p. ex. la taille moyenne du corps dans la population), les limites supérieures des taux de croissance des espèces basales, ainsi que des taux d'alimentation et des vitesses de métabloisme des espèces non basales, peuvent être précisées, ce qui réduit le nombre de paramètres qui doivent être estimés indépendamment ou estimés par ajustement du modèle.

The impact of some physical and chemical processes can be directly installed in these allometric relationships to determine their impact on ecosystem dynamics. For example, temperature has a well-known and ubiquitous impact upon the metabolic rate of individuals. Furthermore, metabolic rate governs a vast number of physiological processes and as an extension of this, many ecologically important rates at the individual and species-level. From first principles the impact of temperature can be installed into allometric equations using the Boltzmann factor, which describes how reaction rates, and thus rates of ingestion / metabolism / production vary as a consequence of temperature. Given that there is a potential for a large number of model parameters to be impacted by temperature variability, environmental effects can propagate through

L'impact de certains processus physiques et chimiques peut être incorporé directement dans ces relations allométriques pour déterminer leurs effets sur la dynamique d'un écosystème. Par exemple, la température a un effet bien connu et très répandu sur la vitesse de métabolisme des individus. De plus, la vitesse de métabolisme régule un vaste nombre de processus physiologiques et, par ricochet, de nombreux taux, importants au plan niveau écologique, chez l'individu et l'espèce. Le facteur de Boltzmann, qui décrit comment les taux de réaction et donc la vitesse de métabolisme et les taux de consommation et de production varient en regard de la température, pemet d'incorporer les effets de la température dans les relations allométriques à partir des principes de base. La variabilité de la température pouvant agir sur un grand nombre des paramètres du modèle, les incidences

species interactions potentially generating counter intuitive effects on population dynamics. The incorporation of other physical and chemical factors is less clear on a broad scale, potentially because there are few other factors which have such a simple and ubiquitous impact on individual physiology. However, for any target species whose vital rates have been documented across a range of physical or chemical conditions, information gained from regressions can be similarly implemented into allometric functions. Other physical and chemical effects can be mimicked in these models using forcing functions of the species' net growth rate.

environnementales peuvent se propager jusque dans les interactions interspécifiques, ce qui pourrait produire des effets contre-intuitifs sur la dynamique des populations. L'inclusion d'autres facteurs physiques et chimiques est moins claire à grande échelle, peut-être parce qu'il existe peu d'autres facteurs qui ont un tel effet simple et répandu sur la physiologie d'un individu. Toutefois, pour n'importe quelle espèce ciblée dont les indices vitaux ont été documentés à l'échelle d'une gamme de conditions physiques ou chimiques, les données issues de régressions peuvent être incorporées de façon analogue dans des fonctions allométriques. Des fonctions de forçage du taux de croissance net de l'espèce peuvent être utilisées pour simuler d'autres effets physiques ou chimiques dans ces modèles.

Bioenergetic models describe the food web dynamics, not the management process itself; they allow for assessment of conservation objectives that can be represented in terms of population biomass levels (e.g. the biomass of species X must be above the threshold value Y). The sensitivity of bioenergetic models to different management strategies and to uncertainty in model parameters and functional forms can be analyzed analytically and numerically. Bifurcation/continuation analyses can be used to understand how changes in a single model parameter (e.g. fishing mortality) impact both the target and non-target species in the food web. Where measures of parameter uncertainty are available, monte-carlo simulation approaches can be used to determine the probability of achieving certain targets in species biomasses.

Les modèles bioénergétiques décrivent la dynamique du réseau alimentaire et non le processus de gestion en soi; ils permettent d'évaluer des objectifs de conservation qui peuvent être représentés en terme des niveaux de biomasse des populations (p. ex. la biomasse de l'espèce X doit être supérieure à la valeur limite Y. On peut analyser, au plan analytique et numérique, la sensibilité de ces modèles à des stratégies de gestion différentes et à l'incertitude entourant les formes fonctionnelles et les paramètres. On peut utiliser des analyses de bifurcation/de continuité pour comprendre comment les changements dans un seul paramètre (p. ex. mortalité par pêche) agissent sur l'espèce ciblée et les espèces non ciblées dans le réseau alimentaire. Lorsque des mesures de l'incertitude entourant les paramètres sont disponibles, on peut faire une simulation de Monte Carlo pour établir la probabilité d'atteinte de certaines cibles de biomasse pour des espèces.

The main advantages of this approach are:

- An easily iterated model structure which can be applied to problems ranging from the 'whole ecosystem' scale to problems concerning the interaction of only two species.
- A common energetic currency allows allometric functions of body size to replace many parameters, reducing the number of parameters which need to be estimated independently or through model fitting.
- Temperature, and potentially other important physical variables, can be incorporated directly into the allometric functions of body size; population rates fluctuate as a consequence of physical conditions.

Voici les principaux avantages de cette approche :

- C'est une structure de modèle facilement itérée qui peut être appliquée à une gamme de problèmes, allant de l'échelle d'un écosystème entier à l'interaction entre seulement deux espèces.
- L'élément d'énergie commun de ces modèles permet d'utiliser des fonctions allométriques pour remplacer de nombreux paramètres, ce qui réduit le nombre de paramètres à estimer indépendamment ou par ajustement.
- La température, et potentiellement d'autres variables physiques importantes, peuvent être incorporées directement dans les fonctions allométriques de la taille du corps. Les taux démographiques fluctuent en fonction des conditions physiques.

- Species interactions are explicitly and dynamically defined; the indirect effects of human activity or physical conditions propagate through these interactions leading to realistic but potentially complicated effects.
- The time-scale of the model is flexible. Physical and biological data measured at varying times or frequencies can be used.

The main disadvantages of this approach are:

- The model cannot (in its present form) incorporate information on the stage-, size or age structure of populations. Each species can only be described by a single 'body size' and therefore the impact of changes in the structure of populations cannot be determined.
- Management objectives must be defined in terms of goals or thresholds for the biomass (abundance) of species.
- When population interactions are non linear, dynamics can be exceedingly complex. Sensitivity analyses may require a 'linear' simplification of the system which is only valid for small changes in model parameters.

Discussion

The models appear useful for large predators like marine mammals, but may be difficult to deal with larval fish or cannibalism. However, work is being published which addresses some of these issues.

Models appear to be a good compromise for dealing with environmental variability, but the way in which the model incorporates temperature effects is probably effective only within the tolerance ranges of the species; the model does not include physiological thresholds.

Still, these thresholds can be incorporated due to the flexibility of the approach. These models are good for representing variation among groups of species, but variation within a species or even closely related species are not well captured.

In terms of fitting, the models tend to capture better those species with low turnover rates like large predators than fast turn-over species like

- Les interactions interspécifiques sont explicitement et dynamiquement définies. Les effets indirects de l'activité humaine ou des conditions physiques se propagent dans ces interactions, ce qui donne des effets réalistes mais potentiellement compliqués.
- L'échelle de temps des modèles est souple. On peut utiliser des données physiques et biologiques mesurées à divers moments ou fréquences.

Voici les principaux désavantages de cette approche :

- On ne peut pas incorporer aux modèles, dans leur forme actuelle, de l'information sur la structure des populations par stade, par âge ou par taille. Chaque espèce doit être décrite par une seule taille du corps, ce qui empêche de déterminer les effets d'un changement dans la structure des populations.
- Les objectifs de gestion doivent être définis en terme de buts ou de seuils pour la biomasse (abondance) des espèces.
- Lorsque les interactions entre populations ne sont pas linéaires, la dynamique peut être extrêmement complexe. Des analyses de sensibilité peuvent nécessiter une simplification linéaire du système, ce qui n'est valide que pour de petits changements dans les paramètres des modèles.

Discussion

Les modèles semblent utiles pour les gros prédateurs, comme les mammifères marins, mais il pourrait être difficile de tenir compte des larves de poissons ou du cannibalisme. Des travaux traitant de certains de ces problèmes seront bientôt publiés.

Les modèles semblent être un bon compromis pour traiter la variabilité environnementale, mais la manière dont ils prennent en charge les effets de la température n'est probablement efficace que dans les intervalles de tolérance de l'espèce. Ils n'incluent pas les seuils physiologiques.

Ces seuils peuvent tout de même être incorporés grâce à la souplesse de l'approche. Ces modèles sont bons pour représenter la variation entre des groupes d'espèces, mais ils saisissent mal la variation chez une espèce ou même entre des espèces étroitement apparentées.

Pour ce qui de l'ajustement, ces modèles ont tendance à mieux saisir les espèces à faibles taux de renouvellement, comme les gros prédateurs,

invertebrates or forage fishes. The issue of identification of the species needed to be included into a bioenergetic-allometric MRM is always difficult, but there are ways of using a highly resolved near-equilibrium model to try to extract the key components for fully dynamic MRMs.

Break-Out Group Discussion – Bioenergetic-Allometric Models

This is a modelling approach that describes the dynamics of a multispecies system using a bioenergetics rationale to represent basic population dynamics equations. It uses energy (bound in biomass) as a common currency to describe species interactions and the abundance of the species over time. It relies on allometric relationships between individual body weights and vital rates to aid in model parameterization. This approach can be used to model over a range of scales, from simple predator-prey interactions to whole food webs in a consistent manner. Depending on the case, this approach can be used to model systems at equilibrium (static), near equilibrium (linearized dynamics) or away from equilibrium (non-linear dynamics). In each of these cases, different methods have been used to describe uncertainty (e.g. Monte Carlo simulations). Recent developments allow incorporating temperature effects into the allometric equations from first principles.

Technical Expertise and Start-up Costs

There is no user-friendly programming environment for developing bioenergetic-allometric models. These models are often directly implemented in programming languages of different levels (Fortran, C++, Matlab), and hence, their implementation requires a fair amount of technical expertise.

In terms of startup costs, these models only require an average amount of resources, but there could be considerable data preparation time. However, in the general context of multispecies models, the data requirements are not particularly demanding. In a general sense these models require time series of population biomasses and catches, information on diets (preferably time series) and average individual body weights.

que les espèces à taux de renouvellement rapides, comme les invertébrés et les poissons à fourrage. Il est toujours difficile d'identifier les espèces qui doivent être incluses dans un MRM bioénergétique allométrique, mais il existe des moyens d'utiliser un modèle de quasi-équilibre hautement résolu pour tenter d'extraire les éléments clés pour des bâtir des MRM pleinement dynamiques.

Discussion en petits groupes – Modèles bioénergétiques allométriques

Cette approche de modélisation, qui se fonde sur la bioénergétique pour représenter des équations de base de la dynamique des populations, décrit bien la dynamique d'un système plurispécifique. L'élément commun d'énergie de la biomasse de l'approche permet de décrire les interactions interspécifiques et l'abondance des espèces au fil du temps. Le paramétrage s'appuie sur les relations allométriques entre le poids corporel et les indices vitaux des individus. L'approche peut servir à construire de façon consistante des modèles à une gamme d'échelle, de simples interactions prédateur-proie à des réseaux alimentaires entiers. Selon le cas, elle peut être utilisée pour modéliser des systèmes en équilibre (statique), près de l'équilibre (dynamique linéarisée) ou loin de l'équilibre (dynamique non linéaire). Dans tous ces cas, des méthodes différentes ont été utilisées pour décrire l'incertitude (p. ex. simulation de Monte Carlo). De récents développements permettent d'incorporer les effets de la température dans les équations allométriques à partir des principes de base.

Compétence technique et frais de démarrage

Il n'existe pas d'environnement de programmation convivial pour le développement de modèles bio-énergétiques allométriques. Ces modèles sont souvent directement mis en place dans des langages de programmation de niveaux différents (Fortran, C++, Matlab). Leur mise en application nécessite donc un niveau assez élevé de compétence technique.

En ce qui concerne les frais de démarrage, ces modèles requièrent un niveau moyen de ressources, mais les données peuvent prendre beaucoup de temps à préparer. Par contre, dans le contexte général des modèles plurispécifiques, les exigences en données ne sont pas particulièrement élevées. En général, ces modèles requièrent des séries chronologiques de données sur la biomasse des populations et les prises, de l'information sur les régimes alimentaires (de préférence des séries

chronologiques) et des données sur le poids moyen des individus.

Model Features

This approach is implemented through a system of ordinary differential equations where each species is represented by a single equation. In its standard formulation these models cannot represent age or size structure; however, recent developments do allow the inclusion of some stage structure and food-dependent growth. This approach cannot readily accommodate any explicit spatial structure. Basic temperature impacts on metabolism and other vital rates are incorporated into the allometric equations describing these rates using the Bolztman factor. Species interactions can be represented using a variety of functional responses. Although allometric functions enable the user to determine or constrain parameters, or both, within realistic values, parameters still need to be estimated. This is done by fitting the models to data. Uncertainty in model responses to parameter values and structural features has been explored using a variety of analytical and numerical tools (e.g. Monte Carlo simulation, bifurcation/ continuation analysis).

Caractéristiques des modèles

Un système d'équations différentielles ordinaires, où chaque espèce est représentée par une seule équation, est utilisé pour appliquer cette approche. Dans leur forme classique, ces modèles ne peuvent pas représenter la structure par âge ou par taille. De récents développements permettent d'inclure un certain niveau de structure par stade de vie et de croissance dépendante à la nourriture. L'approche ne prend pas facilement en charge une structure spatiale explicite. Le facteur de Bolztman est utilisé pour incorporer les effets de la température sur la vitesse de métabolisme et d'autres indices vitaux dans les équations allométriques décrivant ces taux. Les interactions interspécifiques peuvent être représentées à l'aide d'une gamme de réponses fonctionnelles. Bien que les fonctions allométriques permettent aux utilisateurs d'établir les paramètres ou de leur fixer des limites réalistes, ou les deux, ces paramètres doivent être estimés. Cela est fait par ajustement des modèles aux données. Une panoplie d'outils analytiques et numériques (p. ex. simulation de Monte Carlo, analyse de bifurcation / de continuité) ont été utilisés pour analyser l'incertitude entourant les réponses des modèles aux valeurs des paramètres et aux caractéristiques structurelles.

Applicability

These models have been mostly used for conceptual explorations, but are well suited for addressing some strategic questions. They can only address issues amenable to being dealt with in terms of biomass. Even with this limitation, this approach has been useful to assess the effect of culling marine mammals on fisheries yields. This approach can be applied to address some fisheries questions and, potentially some species at risk issues.

Applicabilité

Ces modèles ont principalement été utilisés pour des études conceptuelles, mais ils se prêtent bien à l'analyse d'enjeux stratégiques. Mais ils ne s'appliquent qu'à des questions de biomasse. Bien que limitée de la sorte, cette approche a permis d'évaluer les effets de l'abattage sélectif de mammifères marins sur le rendement de pêches. Elle peut être appliquée à l'analyse de certaines questions relatives aux pêches et, potentiellement, de certaines questions relatives aux espèces en péril.

Main Pros and Cons

The main advantages of this modelling approach include a) its iterated model structure allows building models at any scale, from two species up to entire food webs, and in different dynamical scenarios (e.g. static/equilibrium, local, and global dynamics), using a common set of equations, b) its allometric framework facilitates implementation by minimizing the number of parameters to be estimated or by setting realistic

Principaux avantages et désavantages

Cette approche de modélisation a les principaux avantages suivants : 1) sa structure itérée permet de bâtir des modèles à n'importe quelle échelle, de deux espèces à des réseaux alimentaires complets, et en regard de scénarios de dynamique différents (p. ex. statique/équilibre, locale, globale), b) son cadre allométrique facilite la mise en application en minimisant le nombre de paramètres à estimer ou en leur fixant des limites réalistes et

bounds to them, and c) the possibility of incorporating temperature, and potentially other physical variables, into the basic allometric equations using first principles.

The main disadvantage of these modelling approaches include a) the inability of the approach to address age and size structure, b) its potential to produce complex and potentially unstable dynamics, and c) its inability to handle management objectives in terms of goals or thresholds for the biomass of the species.

Size-Based Ecosystem Models

Ken Haste Anderson,
Danish Technical University, Denmark

Size-based models are a relatively new class of models that do not deal with particular species, but rather with the distribution of individuals of a given size.

1. What is a size spectrum?

The size spectrum describes the size-distribution of all individuals in the sea. It is most conveniently represented by a density spectrum $N(w)$ which represents the density of individuals at a given size, such that the number of individuals with sizes between w and dw is $N \cdot dw$. It is empirically found that over a wide range of sizes, the size spectrum is a power-law, i.e. proportional to $w^{-\lambda}$, with an exponent around 2. If the distribution is represented as the histogram of total biomass in size groups of log width (e.g. from 1-10 g, from 10-100 g etc.), this corresponds to the biomass in each of these groups is constant.

2. What are the main assumptions in size-based models?

Models of size spectra have been around since the late 70s. However in the recent three years a new generation of models has emerged. The main goal of these models is to calculate how the size spectrum changes over time, and how it responds to external perturbations like fishing or changes in primary productivity. The models are typically based around the following basic assumptions:

a) All ecological processes, like growth and encounter, can be described by the size of an individual. In some case other traits, like the asymptotic size, is also used.

c) la possibilité d'incorporer la température, et peut-être d,autres variables physiques, dans les équations allo-métriques de base à l'aide des principes de base.

Cette approche de modélisation a les principaux désavantages suivants : a) incapacité de prendre en charge la structure par âge et par taille, b) potentiel de produire une dynamique complexe et potentiellement instable, 3) incapacité de tenir compte d'objectifs de gestion en terme de buts ou de seuils pour la biomasse de l'espèce à l'étude.

Modèles d'écosystème centrés sur la taille

Ken Haste Anderson,
Danish Technical University, Danemark

Les modèles centrés sur la taille sont une classe de modèles relativement nouvelle. Ils ne se fondent pas sur une espèce particulière, mais plutôt sur la répartition des individus d'une taille donnée.

1. Qu'est-ce qu'un spectre de tailles?

Le spectre de tailles décrit la répartition par taille de tous les individus dans la mer. Il est plus facile de le représenter par un spectre de densité, $N(w)$, qui représente la densité des individus d'une taille donnée, de sorte que le nombre d'individus d'une taille se situant entre w et dw est égal à $N \cdot dw$. Empiriquement, sur une vaste gamme de tailles, le spectre de tailles est une loi de puissance, c.-à-d. qu'il est proportionnel à $w^{-\lambda}$, avec un exposant d'environ 2. Si on représente la répartition par taille par un histogramme de la biomasse totale par groupes de tailles logarithmiques (p. ex. 1-10 g, 10-100 g, etc.), on obtient une biomasse constante de chacun de ces groupes.

2. Quelles sont les principales hypothèses des modèles centrés sur la taille?

Les modèles des spectres de tailles existent depuis la fin des années 1970. Une nouvelle génération de ces modèles a vu le jour dans les trois dernières années. Ils servent principalement à calculer comment un spectre de tailles change au fil du temps et comment il réagit à des perturbations externes, comme la pêche ou des changements dans la productivité primaire. Ces modèles reposent typiquement sur les hypothèses fondamentales suivantes :

a) Tous les processus écologiques, comme la croissance et les interactions, peuvent être décrits par la taille d'un individu. Dans certains cas, d'autres caractéristiques, comme la taille asymptotique, sont aussi utilisées.

b) Big fish eat small fish. This is usually described by a size selection function characterized by a fixed predator-prey size ratio and a width proportional to the weight of the predator.
c) The growth of an individual is governed by the amount of food encountered, subject to a standard bioenergetic model, like the von Bertalanffy or dynamic energy budget.

A fundamental property of the models is mass balance, such that there is a direct correspondence between food eaten and predation mortality.

3. What can these models be used for?

The models typically have a strategic scope. They can be used to explore how the size spectrum responds to changes in overall fishing pattern. This could be:

a) How does the size spectrum respond to fishing on large individuals; how does it respond to industrial fishing (species with small asymptotic size); how does it respond to fishing through-out the ecosystem.
b) How does the system respond to recovery from fishing of a single size group of species. This will show the time scale of recovery and the indirect effects of the recovery on other species.
c) How does the system respond to increases or decreases in primary productivity.
d) Evaluation of size-based indicators for fishing, e.g. changes in the exponent of the ecosystem.

In conclusion, size spectrum models are the newest branch on the tree of ecosystem models. Expect growth in the near future.

Discussion

Comment - We have seen size shifts on the eastern Scotian Shelf, Canada, where we saw a regime shift, so perhaps length based models can detect regime shifts.

Q: How are you treating excretia in the model?

b) Les gros poissons mangent de petits poissons. Cette relation est habituellement décrite par un rapport de taille fixe entre le prédateur et sa proie et une largeur proportionnelle au poids du prédateur.
c) La croissance d'un individu est régulée par la quantité de nourriture qu'il trouve, compte tenu d'un modèle bioénergétique courant, comme le modèle du bilan énergétique ou le modèle d'ajustement de croissance de von Bertalanffy.

Le bilan massique est une propriété fondamentale des modèles, de sorte qu'il y a une correspondance directe entre la proie mangée et la mortalité par prédation.

3. À quoi servent ces modèles?

Ces modèles sont typiquement de nature stratégique. Ils peuvent être utilisés pour établir comment un spectre de tailles réagit à des changements dans le patron de pêche global, comme, par exemple :
a) comment un spectre de tailles réagit à la pêche des gros individus, comment il réagit à la pêche industrielle (espèces de petite taille asymptotique), comment il réagit à la pêche dans l'ensemble de l'écosystème;
b) comment un système réagit au rétablissement d'un groupe de tailles d'une espèce après la pêche, ce qui permet d'établir le temps requis pour le rétablissement et ses effets indirects sur d'autres espèces;
c) comment le système réagit à la hausse et à la baisse de la productivité primaire;
d) évaluer des indicateurs centrés sur la taille pour la pêche, p. ex. les changements dans l'exposant de l'écosystème.

En conclusion, les modèles centrés sur la taille sont la toute nouvelle branche de l'arbre des modèles d'écosystème. Attendez-vous à ce qu'elle pousse rapidement dans un avenir prochain.

Discussion

Commentaire – Nous avons observé des changements dans la taille des poissons dans l'est du plateau néo-écossais, au Canada, où nous avons vu également un changement de régime. Peut-être que les modèles centrés sur la taille nous permettraient de déceler ce changement de régime.

Q. Comment les déjections sont-elles traitées dans le modèle?

A: We are not modelling excretia. Zooplankton produce the most excretia and they are not modelled here. Excretia from fish is a small fraction of total excretia.

Q: But if there is feedback – how do you explain the size spectrum in zooplankton and phytoplankton?
A: We cut the size spectrum short at the recruitment size of the fish – smaller sizes are more simply modelled.

Q: I think that your transfer efficiencies are probably much too high. Would you expect primary production to have that much effect?
A: ~25% - perhaps I modelled too big a change.

Q: Your results for the pattern of changing fishing mortality on older fish contradict those of Henrik Gislason, which showed that industrial fishing did matter. What happened to species that fell below the limit of the S/R relationship?

A: Most fish stayed above line of recruitment failure. But when they fail they are taken out of the model.

Q: In some simulations the intermediate size class was less vulnerable to perturbation. Did you include starvation?
A: Starvation does not change the results

Q: How does this type of approach fit to systems with more K species. Would you expect to see similar results? E.g. rock fish, redfish.

A: Good question, but cannot answer straight. K species have different life histories, lower growth, longer life history.

Q: You showed a recovery of large fish, yet in the real world this did not happen, so are there things going on that are not modelled?

A: Many things not represented in model. So it can be used as an assistance and use biological knowledge about these systems to interpret results. Framework is more for studying whole ecosystem rather than a single species.

Comment: The Pope et al. size-based model fit a set of 5 constraints that they knew applied to North Sea to 5 pseudo species which differed in L_∞. They only required 15 parameters to have the

A. Nous ne modélisons pas les déjections. Le zooplancton en produit la plus grande quantité, et il n'est pas modélisé. Les déjections des poissons ne constituent qu'une petite fraction des déjections totales.

Q. Il y a une rétroaction pourtant. Comment expliquez-vous le spectre de tailles pour le zooplancton et le phytoplancton?
R. Nous interrompons le spectre de tailles à la taille de recrutement du poisson – les poissons de petite taille ne sont pas modélisés.

Q. Je crois que vos niveaux d'efficacité de transfert sont beaucoup trop élevés. Vous attendez-vous à ce que la production primaire ait un si grand effet?
R. Environ 25 %. Peut-être que le changement que j'ai modélisé est trop grand.

Q. Vos résultats sur le patron de changement de la mortalité des vieux poissons par pêche contredisent ceux de Henrik Gislason, qui montrent que la pêche industrielle est un facteur important. Qu'est-il arrivé aux espèces qui se situaient en dessous de la limite de la relation S/R?
R. La plupart des espèces sont restées au dessus de la ligne d'échec du recrutement. Mais lorsque cela n'est pas le cas, elles sont éliminées du modèle.

Q. Dans certaines simulations, la classe d'âge intermédiaire était moins vulnérable aux pertubations. Y avez-vous inclus la famine?
R. La famine ne change pas les résultats.

Q. Cette approche s'applique-t-elle aux systèmes ayant un plus grand nombre d'espèces K, p. ex. le sébaste, la rascasse? Les résultats seraient-ils semblables?
R. C'est une bonne question, mais je n'ai pas de réponse. Les espèces K ont un cycle vital plus long et un taux de croissance plus lent.

Q. Vous montrez un rétablissement des gros poissons, mais cela ne se produit pas dans le monde réel. Se produit-il des choses qui ne sont pas modélisées?
R. Nombre de choses ne sont pas représentées dans le modèle. Le modèle permet d'utiliser les données biologiques sur ces systèmes pour interpréter les résultats. Il se prête mieux à l'étude d'un écosystème entier que d'une seule espèce.

Commentaire : Le modèle centré sur la taille de Pope *et al.* applique cinq contraintes particulières à la mer du Nord à cinq pseudo-espèces de L_∞ différentes. Ces chercheurs n'ont utilisé que

whole community function and be exploited by a fishery, because of the linkages between the parameters. All parameters were scaled to L_∞.

15 paramètres pour amener toute la communauté à fonctionner et à être pêchée grâce aux liens entre les paramètres. Tous les paramètres étaient exprimés en fonction de L_∞.

Q: In the figures you showed. There was a linear slope for size spectrum – do you see situation where you do not get linear?
A: When there are trophic cascades and oscillations, these can be cut off at ends. But straight lines roughly always.

Q. Dans les figures montrées, le spectre de tailles a une pente linéaire. Arrive-t-il qu'elle ne le soit pas?

R. Lorsqu'il se produit des oscillations et des cascades trophiques, elles peuvent être coupées aux extrémités. Mais on obtient presque toujours une droite.

Comment: But since the predator/prey size ratios are fixed, you would expect to see straight lines.

Commentaire : Mais vu que les rapports de taille prédateur-proie sont fixes, des droites devraient être obtenues.

Break-Out Group Discussion – Size-based Models

Discussion en petits groupes – Modèles centrés sur la taille

The implementation of size-based trophodynamic models requires some expertise in both formulating the functional relationships and coding the models to run. However general equations underlying the size-based predation, growth, and natural mortality functions are widely available. Hence an adequate level of expertise can be gained relatively quickly. However, extending these models beyond the core relationships may require more mathematical background.

L'application de modèles trophodynamiques centrés sur la taille requiert une certaine compétence dans la formulation des relations fonctionnelles et le codage des modèles à passer. Des équations générales sous-tendant les fonctions de prédation centrée sur la taille, de croissance et de mortalité naturelle sont toutefois largement disponibles. Un niveau adéquat de compétence peut donc être acquis assez rapidement. Toutefois, l'élargissement de ces modèles au-delà des relations de base peut nécessiter des connaissances mathématiques plus poussées.

The other startup costs are low to moderate. Because size-based models are built around general life history parameters available from the literature, data requirements for start-up are particularly modest. Species-by-species diet data are not needed, but size composition data from all species in the community, not just a few of the dominant commercial and bycatch species are needed.

Les autres coûts de démarrage vont de faibles à modérés. Comme les modèles centrés sur la taille s'appuient sur des paramètres généraux du cycle vital qui se trouvent dans des ouvrages, les exigences en matière de données au départ sont particulièrement modestes. Des données sur le régime alimentaire de chaque espèce ne sont pas requises, mais des données sur la composition par taille pour toutes les espèces de la communauté, et non juste quelques-unes des espèces d'importance commerciale et des espèces prises accessoirement, sont requises.

The main assumptions of size-based models from the literature on "life-history invariants (sensu Charnov), and are well summarized in the section on the presentation by Andersen. The approach accommodates size directly, and age implicitly in cases when either age-length keys are available or when growth rates are represented as time dependent but not food-supply dependent.

Les principales hypothèses sous-tendant les modèles centrés sur la taille tirées d'ouvrages sur les invariants biodémographiques (au sens de Charnov) sont bien résumées dans la section sur la présentation d'Andersen. L'approche tient compte de la taille directement et de l'âge implicitement lorsque soit des clés âge-longueur sont disponibles ou que les taux de croissance sont représentés comme dépendants au temps mais pas à la quantité de nourriture.

Predator-prey interactions are explicit but represented as sizes of predators and prey, not species. Whether species identities can be recovered from the size-based dynamic relationships depends on details of how the model was constructed and parameterized. The functional feeding response is type 2.

Les interactions prédateur-proie sont explicites mais représentées par la taille des prédateurs et des proies et non par les espèces. L'identification des espèces d'après les relations dynamiques centrées sur la taille dépendra des détails de construction et de paramétrage du modèle. La réponse d'alimentation fonctionnelle est de type 2.

At the present time these type of models are not spatially explicit the concept of "species migration" does not apply to size groups that pool across species. However, evidence was presented that there is spatial pattern to changes in size-based indicators of community structure, so this is a direction in which more exploration is possible.

Ces modèles ne sont pas spatialement explicites en ce moment : le concept de « migration d'espèce » ne s'applique pas aux groupes de taille qui se forment, toutes espèces confondues. L'évidence présentée montre toutefois qu'il existe une tendance spatiale dans les changements dans les indicateurs de la structure de communautés, centrés sur la taille. D'autres travaux devraient être menés.

Size-based models can deal with environmental forcing through changing the carrying capacity of primary producers, and by incorporating temperature-dependence in feeding, growth, reproduction, and/or survivorship functions. Size-based models can capture regime shifts but only at the level of total productivity of the system.

Les modèles centrés sur la taille peuvent tenir compte du forçage environnemental. Il suffit d'y modifier la capacité limite des producteurs primaires et d'y inclure la dépendance de l'alimentation, de la croissance, de la reproduction et/ou de la survie à la température. Ces modèles peuvent saisir les changements de régime, mais seulement au niveau de la productivité totale du système.

Applicability

These models have few enough parameters that standard sensitivity analyses and fitting of confidence intervals to parameters are possible, as strategies to explore magnitudes and sources of uncertainty. Furthermore, in projection mode, noise can be added to simulate environmental stochasticity in recruitment or other parameters, and parameter uncertainties and covariances can be used in Monte Carlo simulation strategies.

Applicabilité

Les paramètres de ces modèles sont assez peu nombreux qu'il est possible de faire des analyses de sensibilité normalisées et de calculer leurs intervalles de confiance, ce qui permet d'établir l'ampleur et les sources d'incertitude. De plus, en mode de projection, on peut y ajouter du bruit pour simuler la stochasticité environnementale du recrutement ou d'autres paramètres, et les covariances et les incertitudes entourant les paramètres peuvent être utilisées dans des simulations de Monte-Carlo.

Size-based models can provide information for reference points on size-based indicators at the system level and to evaluate their performance. It can also suggest potential reference points that could not be evident for consideration otherwise. The models may provide a platform for exploring some system level HCRs, but such explorations have not yet been undertaken. At this time size-based models are generally used as research tool and may need further development to address full MSE applications. These models are not expected (nor have been designed) to address classic species-based MSE applications, but there may be other classes of management

Les modèles centrés sur la taille peuvent fournir de l'information permettant de définir des points de référence pour les indicateurs centrés sur la taille au niveau du système et d'évaluer leur rendement. Ils peuvent également faire ressortir des points de référence potentiels qui autrement ne seraient pas évidents. Ils peuvent en outre servir de plateforme pour analyser des règles de pêche au niveau d'un système, mais cela n'a pas encore été fait. Ces modèles sont généralement utilisés à l'heure actuelle comme outil de recherche et peuvent devoir être développés davantage si le but est de faire une ESG. On ne n'attend pas à ce qu'ils puissent servir à des ESG classiques centrées sur

strategies which these models prove to be very effective as evaluation tools. One virtue of the size-based models in MSE contexts is their high efficiency and flexibility for running simulation scenarios. In this context, it is not yet known how far they will be able to go in providing risk analysis.

These models could be useful to simulate some high level objectives (e.g. forage fish policy in DFO).

Aggregate Biomass Models
Jason S. Link, NMFS, USA

In the continuum of multi-species and ecosystem models used in a fisheries context, aggregate biomass models are one approach to understand the dynamics of major groups of species (if not even all targeted species) simultaneously. In effect, aggregate biomass models are simply extensions (or more accurately, aggregated uses) of single species (SS) or multi-species models (MS). These aggregate models often use extant SS modelling approaches, but are just parameterized for an entire group of species as opposed to a particular stock.

The intended purposes of aggregate biomass models are generally to 1) assess the status of living marine resources (LMR) as major groups or clusters (e.g. guilds, taxa, etc.), not as individual stocks, particularly in instances when doing so is data-limited; and 2) estimate total systemic or group level biological reference points (BRP) that account for species interactions and precaution.

There are two example applications from the northeast U.S. (NEUS). One is parameterizing a surplus production model (i.e., ASPIC; Prager 1994) for the full suite of groundfish, all finfish, and all targeted species. The second is using a MS simulation production model (i.e., MS-PROD; Link 2003) parameterized for the entire fish community as a whole and in component groups to estimate total carrying capacities under various scenarios and parameter sensitivities. Both these works are still ongoing so examples presented remain quite preliminary.

Other ecosystems have used an aggregate approach as well. For example, this method is

des espèces (et ils n'on pas été conçus à cette fin), mais il pourraient être des outils d'évaluation très efficaces d'autres classes de stratégies de gestion. Dans le contexte des ESG, un des avantages des modèles centrés sur la taille est leur grande efficacité et souplesse pour exécuter des scénarios de simulation. Mais on ne sait pas encore dans quelle mesure ils peuvent faire une analyse du risque.

Ces modèles pourraient être utiles pour simuler certains objectifs de haut niveau (p. ex. politique sur le poisson-fourrage du MPO).

Modèles de la biomasse globale
Jason S. Link, NMFS, États-Unis

Dans le continuum des modèles d'écosystème et de plusieurs espèces utilisés dans le contexte des pêches, les modèles de biomasse globale sont un de ceux qui permettent de comprendre simultanément la dynamique de groupes d'espèces importants (et même de toutes les espèces ciblées). En fait, ces modèles sont tout simplement des élargissements (ou plus précisément des utilisations agrégées) de modèles monospécifiques (MM) ou de modèles plurispécifiques (MP). Ces modèles agrégés utilisent souvent des approches existantes de modélisation de MM, mais ils sont paramétrés pour tout un groupe d'espèces plutôt que pour un stock particulier.

En général, les modèles de biomasse globale servent à 1) évaluer l'état de ressources marines vivantes (RMV) comme grands groupes ou grappes (guildes, taxons, etc.) et non comme stocks individuels, en particulier lorsque les données sont limitées et 2) estimer des points de référence biologique (PRB) généraux ou pour un groupe qui tiennent compte des interactions interspécifiques et du principe de précaution.

Deux applications de ces modèles sont en cours dans le nord-est des États-Unis (NEUS) : le paramétrage d'un modèle de la production excédentaire (ASPIC; Prager, 1994) pour la pleine gamme des poissons de fond et de toutes les espèces ciblées et l'utilisation d'un MP de simulation de la production (MS-PROD; Link, 2003) paramétré pour la communauté de poissons dans son ensemble et en groupes pour estimer les capacités de charge totales en regard de divers scénarios et de niveaux de sensibilité des paramètres. Ces travaux se poursuivent.

L'approche globale a également été appliquée à d'autres écosystèmes. Par exemple, elle est

common in tropical reef ecosystems due to the high species richness and low data density often found there. Further, CCAMLR sometimes uses aggregate biomass modelling approaches in a LMR management context to estimate some of their BRPs (Constable, pers. comm.). Additionally, the North Pacific Fisheries Management Council (i.e., Alaska) uses a total groundfish cap for the entire ecosystem (Livingston, pers. comm.).

The management applications of aggregate biomass models can be both tactical and strategic. One can use them to set total system or aggregate group quotas/BRPs in a tactical sense and in conjunction with SS assessment model outputs. One can also use them to strategically evaluate scenarios in biomass tradeoffs among major groups in an ecosystem.

The main questions posed by the conference organizers are addressed below.

1. *How does this modelling approach incorporate the effects of physical (and chemical) forcing in the assessment of the status and dynamics of populations, species or communities?*

   Not directly, but it can account for temperature as part of change in growth rates and/or carrying capacity terms in the model. It can also link output from NPZ types of models to those terms (r & K) to address these types of bottom-up issues.

2. *How does this modelling approach incorporate species interactions (predator-prey, competition) in the assessment of the status and dynamics of populations, species or communities?*

   Directly if interaction-term form of such models are used; indirectly if not used as part of r and K.

3. *How does this modelling approach enable the identification of conservation objectives (and corresponding quantitative reference points) associated with:*

souvent appliquée aux écosystèmes récifaux tropicaux vu la forte diversité des espèces et la faible quantité de données disponibles. De plus, la CCAMLR utilise parfois des approches de modélisation de la biomasse globale dans le contexte de la gestion de RMV pour estimer certains de leurs PRB (Constable, comm. pers.). En outre, le North Pacific Fisheries Management Council (Alaska) applique un plafond des prises de poisson de fond à l'ensemble de l'écosystème (Livingston, comm. pers.).

Les applications en gestion des modèles de biomasse globale peuvent être tactiques et stratégiques. On peut les utiliser pour établir des quotas/PRB pour l'ensemble d'un système ou pour un groupe agrégé au sens tactique et en liaison avec les extrants d'un MM. On peut aussi les utiliser pour faire une évaluation stratégique de scénarios de compromis de biomasse entre les principaux groupes dans un écosystème.

Voici les réponses aux questions posées par les organisateurs de l'atelier.

1. *Comment cette approche de modélisation incorpore-t-elle les effets du forçage physique et chimique dans l'évaluation de l'état et de la dynamique de populations, d'espèces ou de communautés?*

   Elle ne le fait pas directement, mais elle peut tenir compte de la température au titre d'un chan-gement des termes des taux de croissance et/ou de la capacité de charge dans le modèl. Elle peut également relier les extrants des modèles de type NPZ à ces termes (r et K) pour tenir compte de ce type d'enjeux ascendants.

2. *Comment cette approche de modélisation incorpore-t-elle les interactions inter-spécifiques (prédateur-proie, compétition) dans l'évaluation de l'état et de la dynamique de populations, d'espèces ou de communautés?*

   Directement, si la forme du terme d'interaction de tels modèles est utilisée, indirectement si elle n'est pas utilisée comme un élément de r ou de K.

3. *Comment cette approche de modélisation permet-elle d'établir les objectifs de conser-vation (et les points de référence quantitatifs connexes) pour :*

a) Target species of a fishery or permitted activity (viewed in an ecosystem context)

b) Other ecosystem components and properties affected by the fishery or permitted activity?

Directly produces BRPs typically used in LMR management now, just for aggregate groups; may be less germane for item b (but could include PS and NTS as aggregate groups).

4. *How can this modelling approach be used for the development, evaluation, and implementation of harvest control rules (or rule-based management of other activities) that take account of :*
   a) Environmental forcing
   b) Species interactions
   c) Implementation uncertainty

See replies to questions above:
   a) as part of r or K;
   b) directly if interaction form of model used;

   c) standard fitting concerns, sensitivity analyses and in general I'd argue that this concern is likely germane for any model used in a LMR management context.

5. *Can this modelling approach be used to estimate risks and likelihoods of failure to achieve management objectives for populations, species, or communities?*

Not designed to do so directly, but could if used as an operating model in a MP/MSE framework.

6. *What are the model's data requirements?*

In the simplest form, time series of catches and estimates of abundance for groups of species (of interest). Starting parameters bound by literature / empirical information.

In interactive forms, some ecological data (e.g. stomach data to estimate species interactions) are also required.

a) les espèces ciblées par la pêche ou une activité autorisée (dans un contexte écosystémique)

b) d'autres composantes et propriétés écosystémiques affectées par la pêche ou une activité autorisée?

Elle produit directement les PRB couramment utilisés dans la gestion de RMV, mais seulement pour des groupes agrégés. Il se peut qu'elle soit moins appropriée pour le point b).

4. *Est-ce que cette approche de modélisation peut servir à l'élaboration, l'évaluation et l'application de règles de pêche (ou à la gestion d'autres activités centrée sur des règles) qui tiennent compte :*
   a) du forçage environnemental,
   b) des interactions interspécifiques,
   c) de l'incertitude entourant leur application?

Voir la réponse aux questions ci-dessus :
   a) comme élément de r ou K;
   b) directement, si la forme du terme d'interaction du modèle est utilisée;
   c) c'est un problème d'ajustement ordinaire; en général, je dirais que tous les modèles utilisés dans un contexte de gestion de RMV ont ce problème.

5. *Cette approche de modélisation peut-elle être utilisée pour estimer les risques et la possibilité que les objectifs de gestion pour des espèces, des populations ou des communautés ne seront pas atteints?*

Elle n'est pas conçue pour le faire directement, mais elle pourrait être utilisée comme modèle opératoire dans un cadre PG/ESG.

6. *Quels sont les exigences en matière de données du modèle?*

Dans sa forme la plus simple, le modèle requiert des séries chronologiques de données sur les prises et des estimations de l'abondance pour les groupes d'espèces à l'étude. Les paramètres de départ se trouvent dans des ouvrages publiés.

Dans ses formes interactives, le modèle requiert aussi des données écologiques (données sur les contenus stomacaux pour estimer les interactions interspécifiques).

7. *What are the model's basic assumptions?*

Same as those for typical surplus production or logistic growth models; In interactive forms also that species interactions are estimable, functional forms correct, etc.; Similar vital rates and parameterizations across amalgamated groups of species.

8. *Is the model user friendly, i.e. can it be relatively easily understood and used by non-modellers? Or developed to this point?*

Yes (beyond the math for the uninitiate); there is a GUI available for both ASPIC and MS-PROD.

9. *What, in your view, are the main pros and cons of this specific modelling approach?*

Pros:

- Establishes ability to address trade-offs among fisheries.
- Built in precautionary approach.
- Minimizes need for extensive age data.
- Directly or indirectly accounts for species interactions.
- Model outputs are still in familiar, albeit aggregated, form.

Cons:

- Minimizes stock specific information.
- May miss some life history dynamics without age/size structure.
- Assumptions of amalgamated vital rate parameters across groups of diverse spp and life histories may be a challenge.
- Usually more conservative model output as LMR management advice, may be controversial to some stakeholders.

Conclusions

There are lots of models to use in fisheries and LMR management. There is no one "right" model to use; multi-model inference is preferable in most cases. Aggregate biomass models are simply extensions of already used SS models but for groups of species rather than for a stock. There are both strategic and tactical uses of aggregate model outputs. There are also extant

7. *Quelles sont les hypothèses de base du modèle?*

Les mêmes que les modèles typiques de production excédentaire ou de croissance logistique. En outre, dans ses formes interactives, que les interactions interspécifiques sont estimables, que les formes fonctionnelles sont correctes, etc. Les indices vitaux et le paramétrage entre les groupes d'espèces agrégés sont semblables.

8. *Le modèle est-il convivial, c'est-à-dire est-ce que les non-modélisateurs peuvent le comprendre et l'utiliser facilement? Ou le développer jusqu'à ce point?*

Oui (à part les maths pour les non-initiés), il existe une interface graphique pour ASPIC et MS-PROD.

9. *D'après vous, quels sont les principaux avantages et désavantages de cette approche de modélisation?*

Avantages :

- Offre la capacité de faire des compromis entre pêches
- Approche de précaution prédéfinie
- Minimise le besoin de grandes quantités de données sur l'âge
- Tient directement ou indirectement compte des interactions interspécifiques
- Sorties sont encore dans une forme connue quoique agrégées

Désavantages :

- Minimise l'information spécifique à un stock
- Peut ignorer un élément de la dynamique du cycle vital en l'absence de la structure par âge ou par taille
- Hypothèses de la fusion des indices vitaux de groupes de diverses espèces et cycles biologiques peuvent poser un défi
- Sorties habituellement plus prudentes que les avis de gestion des RMV et pourraient être contestées par certains intéressés

Conclusions

Beaucoup de modèles peuvent être utilisés pour la gestion des pêches et des RMV. Aucun n'est absolu. Dans la plupart des cas, l'inférence multi-modèle est préférable. Les modèles de biomasse globale sont tout simplement des élargissements de MM déjà utilisés, à la différence qu'ils s'appliquent à des groupes d'espèces plutôt qu'à un stock. Les sorties de ces modèles peuvent

(and relatively user-friendly) fitting and simulating tools. There are several examples of uses/applications of this approach and examples are growing globally.

Discussion

Q: You noted that you are looking at models across the spectrum of possible approaches– how do the aggregate models compare to the other models?
A: In terms of comparable outputs – ESAMS – add up over single species – they give comparable results. For other models, the results are a little different so we are looking at why this is.

Q: I was a little confused in the simulation example which was for Georges Bank in the unimpacted state, when you started, Georges Bank was already fished, and thus already perturbed – does it make a difference?
A: It does and it doesn't. We used the average long term biomass to set the carrying capacity.

Q: You stated that the sum of single species MSYs is greater that the sum of the ecosystem (or community) MSYs. Doesn't the answer depend on what part of the system is being exploited, and whether you include predation and competition?
A: If you include predation and competition in your single species MSY estimates then you will effectively get a similar result, i.e, the single species MSYs will be more realistic.

Q: Do you have yield curves and how do they differ from single species yield curves?

A: No, not yet

Q: What does this do to management? I can imagine situations where certain aggregates are more feasible than others. Would it sometimes make sense to go with an aggregate management strategy?
A: The positives outweigh negatives. If you have quota for groups of species, then there is no such thing as bycatch in this group. This provides an incentive structure for the fishery to follow this quota. But certain countries force you to assess single stocks.

Q: Since this is a relatively simple approach to use, why has it not been more widely adopted,

servir à des fins stratégiques ou tactiques. Des outils (relativement conviviaux) d'ajustement et de simulation sont également disponibles. Cette approche a été appliquée à plusieurs reprises, et elle l'est de plus en plus à l'échelle mondiale.

Discussion

Q. Vous avez indiqué que vous considérez tous les modèles du spectre. Comment les modèles agrégés se comparent-ils aux autres ?

R. Les ESAM et les MM donnent des sorties comparables. Pour les autres modèles, les résultats sont quelque peu différents. Nous tentons d'établir pourquoi cela est le cas.

Q. L'exemple de simulation du banc Georges dans un état vierge m'a quelque peu déconcerté. Quand vous avez commencé, la pêche se pratiquait déjà sur le banc et il était donc déjà perturbé. Est-ce que cela fait une différence ?
R. Oui et non. Nous avons utilisé la biomasse moyenne à long terme pour établir la capacité de charge.

Q. Vous avez dit que la somme des PME pour une espèce est plus grande que les PME de l'écosystème (ou de la communauté). La réponse ne dépend-t-elle pas de la partie du système qui est exploitée et de l'inclusion ou non de la prédation et de la compétition?
R. Si on inclut la prédation et la compétition dans les estimations des PME pour une espèce, on obtient effectivement un résultat semblable, c'est-à-dire que les PME seront plus réalistes.

Q. Avez-vous établi des courbes de rendement et, si oui, différent-elles des courbes de rendement pour une espèce ?
R. Non, pas encore.

Q. Quelles sont les répercussions pour la gestion? Je peux imaginer des situations où certains regroupements sont plus faisables que d'autres. Serait-il parfois logique d'adopter une stratégique de gestion globale?
R. Les aspects positifs l'emportent sur les négatifs. Si un quota a été fixé pour un groupe d'espèces, il n'y a pas de prises accessoires dans ce groupe. Cela encourage les pêcheurs à respecter le quota. Mais certains pays exigent que les stocks soient évalués individuellement.

Q. Cette approche est relativement simple à utiliser, mais pourquoi n'a-t-elle pas été adoptée

particularly in western, more data rich countries?

A: We have got into the mentality of how fishery science should involve complex models that hire a lot of scientists! Simplicity is not necessarily scientifically or intellectually rewarding.

plus largement, en particulier dans les pays occidentaux, qui possèdent beaucoup de données?
R. C'est parce que nous avons adopté la mentalité que l'halieutique devait faire intervenir des modèles complexes nécessitant l'embauche d'un grande nombre de scientifiques! La simplicité n'est pas forcément enrichissante sur le plan scientifique ou intellectuel.

Comment: There has been a large set of data that we have developed – so we want to use it essentially.

Commentaire : Nous avons constitué un vaste ensemble de données. Donc, essentiellement, nous voulons l'utiliser.

Comment: It is a question of transition from business as usual – we have got really good at doing age-structured population dynamic models and if we start doing something else we will not be as good at – so part of problem is internal to ourselves. We need to sell with conviction to clients.

Commentaire : C'est une question d'abandon du statu quo. Nous sommes devenus vraiment bons dans la construction de modèles de la dynamique des populations structurés selon l'âge. Si nous entreprenons d'autre chose, nous n'aurons pas autant de succès. Nous sommes donc une partie du problème. Nous devons être persuasifs.

Comment: In answer to earlier questions, we also have to remember that the species included in the aggregate have to be comparable in diet and in population dynamic processes too, otherwise we enter into the realm of weak management (most productive species will drive everything else out of the system).
A: Yes, groups should be ecologically and fisheries equivalent

Commentaire : En réponse à des questions antérieures, il faut se rappeler que les espèces incluses dans l'agrégat doivent avoir un régime alimentaire et une dynamique des populations analogues, sinon nous entrons dans le monde de la gestion faible (la plupart des espèces productives chasseront toutes les autres du système).
R. Oui, les groupes devraient s'équivaloir sur les plans écologie et pêche.

Q: An MSVPA forecast can be captured by an aggregate surplus production model with interactions, but the problem is that you can't estimate the interaction co-efficients with confidence limits without the MSVPA! So we need both. We also need to find ways to estimate the interaction terms more simply.

Q. Une prévision issue d'une MSVPA peut être saisie dans un modèle de production excédentaire globale incorporant les interactions, mais le problème, c'est que l'on ne peut pas estimer les coefficients d'interaction et leurs limites de confiance sans la MSVPA! Nous avons donc besoin des deux. Nous devons également trouver des moyens plus simples d'estimer les termes d'interaction.

Comment: But you can take a simpler approach without the interaction terms. In addition, we also need to find ways to estimate the interaction terms more simply.

Commentaire : On peut prendre une approche plus simple sans inclure les termes d'interaction. De plus, on doit trouver des moyens d'estimer les termes d'interaction d'une manière plus simple.

Comment: It would be interesting to see if aggregate surplus production models could capture the bigger models (zero catch at no F and zero catch at high high F).

Commentaire : Il serait intéressant de voir si les modèles de production excédentaire globale peuvent saisir les modèles plus gros (prises nulles à F nul et prises nulles à F très élevé).

Break-Out Group Discussion – Aggregate Biomass Models

Discussion en petits groupes – Modèles de la biomasse globale

Aggregate biomass models are also relatively simple models that could be implemented where fisheries stock assessment data are available.

Les modèles de la biomasse globale sont aussi des modèles relativement simples qui pourraient être appliqués lorsque des données d'évaluation de

The purpose of these models is to assess the status of resources as major groups or clusters and not as individual stocks. Aggregate surplus production models are a kind of aggregate biomass models.

The models are simple to implement for proficient stock assessment biologists or scientists with quantitative skills, however, they are not recommended for non-modellers. It would be somewhat difficult for users without population dynamics background to learn this approach.

The start-up costs are considered to be low. Software (e.g. ASPIC) is freely available. The costs consist of the time for an analyst to assemble the data and conduct the analyses. Assembling the data should be relatively easy in most cases since the types of data (catch and biomass indicators) required are commonly used in stock assessments and/or readily available. As a result, data preparation would be minimal. It is important to consider that catch data can suffer from biases and it is particularly important for these data to be as accurate as possible.

stocks pêchés sont disponibles. L'objet de ces modèles est l'évaluation de l'état des ressources en tant que grands groupes ou grappes et non en tant que stocks individuels. Les modèles de la production excédentaire globale sont une sorte de modèles de la biomasse globale.

Pour les biologistes des évaluations de stock chevronnés et les scientifiques possédant des compétences en mathématiques, les modèles sont simples à appliquer. Mais ils ne sont pas recommandés aux non-modélisateurs. Les utilisateurs sans formation en dynamique des populations auront passablement de difficulté à apprendre cette approche.

Les coûts de démarrage sont considérés comme étant faibles. Les logiciels (p. ex. ASPIC) sont disponibles gratuitement et seul le temps qu'il faut à un analyste pour assembler les données et mener les analyses doit être couvert. L'assemblage des données devrait être relativement simple dans la plupart des cas étant donné que les données (indicateurs de la biomasse et des prises) requises sont ordinairement utilisées dans les évaluations de stock et/ou aisément disponibles. Les données requièrent donc peu de préparation. Il est important de tenir compte du fait que les données sur les prises peuvent être biaisées. Il est donc particulièrement important qu'elles soient aussi précises que possible.

Ecosystem Models: Ecopath with Ecosim 6

Villy Christensen and Sherman Lai, UBC Fisheries Centre, Vancouver, Canada

The Ecopath with Ecosim (EwE) approach, which primarily is developed at the Fisheries Centre of the University of British Columbia, was in 2007 named as one of the ten biggest scientific breakthroughs in NOAA's 200-year history. The citation highlighted that Ecopath "revolutionized scientists' ability worldwide to understand complex marine ecosystems". Behind this lies a couple of decades of development work followed closely with a strong dedication to user support and training, resulting in some 6000 registered users in 155 countries. The many years of development have, however, also had a less-desirable effect. As we have been expanding the approach the software implementing it has grown to be a rather complicated entity, with limited ability for customization, e.g., through addition of alternative calculation modules by other developers, and, making things worse, the development environment (Microsoft VB6) we have used since the late 1990s is no longer being

Modèles d'écosystème – Ecopath-Ecosim 6

Villy Christensen et Sherman Lai, UBC Fisheries Centre, Vancouver, Canada

Le modèle Ecopath-Ecosim (EwE), élaboré presque entièrement au Fisheries Centre de la University of British Columbia, a été désigné en 2007 comme l'une des dix plus grandes percées scientifiques dans les 200 ans d'histoire de la NOAA. La citation a souligné le fait que Ecopath a transformé radicalement la capacité des scientifiques du monde entier de comprendre des écosystèmes marins complexes. Les quelques décennies de travaux de développement et le dévouement exemplaire à la formation des utilisateurs et à leur assistance ont résulté en son utilisation par quelques 6 000 utilisateurs inscrits dans 155 pays. Ces longues années consacrées au développement ont toutefois eu un effet moins désirable. À mesure que nous avons élargi le modèle, le logiciel d'application est devenu plutôt compliqué. La capacité de le personnaliser, p. ex. par ajout de modules de calcul de rechange mis au point par d'autres réalisateurs, est limitée. Pis encore, l'environnement de développement

supported. EwE5 was technically reaching its limits, and we were faced with a difficult decision of whether to carry on while the going was good, refurbish, or rebuild.

Motivation to overhaul is one thing; being able to see it through something quite different. Too many successful scientific software have faced sudden death when embarking on a redevelopment. Adding to such concern is that while it is feasible to obtain funding for application of tools and models, it is extremely difficult to get anyone to fund tool development. We have been fortunate, however, to get support from the Lenfest Ocean Program (www.lenfestocean.org) for redeveloping EwE over a two-year period 2005-2007. The outcome of this is a new release of EwE6[1], developed in a new, integrated software environment (.NET) and totally restructured so that only the key computational parts have been ported, while all other parts, module structure, data handling, user interface, etc. have been re-programmed as fully object-oriented programming. The new EwE6[2] has been restructured to modularize the individual components, and we have completely separated the user interface from the computational core so that we can implement different interfaces; not just the standard scientific but also for instance gaming interfaces. Doing so, was actually the main reason for embarking on the redevelopment, we will as the next phase of the Lenfest Ocean Futures Project (www.lenfestoceanfutures.org).

The Lenfest Ocean Futures Project is designed to address how current fisheries management approaches can be modified to become more responsible from social, economical as well as ecological perspectives. The project is developing a new approach to fisheries management through an EwE-based ecosystem modelling and visualization methodology aimed at exploring scenarios management in policy and management workshops. The project relies on development of three technical components: optimization of the ecological software system, Ecopath with Ecosim (EwE), development of interactive gaming software, and visualization of

(Microsoft VB6) que nous utilisons depuis la fin des années 1990 n'est plus accueilli. EwE5 était à la veille d'atteindre ses limites au plan technique, et nous avons été contraints à faire face à la difficile décision de continuer alors que les choses allaient bien, de réviser ou de reconstruire.

Vouloir réviser est une chose, être capable de le réaliser est tout autre chose. Un trop grand nombre de bons logiciels scientifiques n'ont pas survécu à la reconstruction. Qui plus est, bien qu'il soit possible d'obtenir des fonds pour l'application d'outils et de modèles, il est extrêmement difficile d'en obtenir pour le développement d'outils. Nous avons toutefois été chanceux d'avoir obtenu l'appui du Lenfest Ocean Program (www.lenfestocean.org) pour la révision d'EwE, qui s'est étendue sur une période de deux ans (2005-2007). Le résultat? La diffusion d'EwE, version 6, qui est un nouvel environnement logiciel intégré (.NET) totalement restructuré de sorte que seules les propriétés computationnelles ont été portées alors que tous les autres éléments (structure des modules, manipulation des données, interface-utilisateur, etc.) ont été programmés par objets. Dans EwE6, chaque composante est modularisée, et nous avons complètement séparé l'interface-utilisateur du noyau computationnel, ce qui nous permet d'appliquer des interfaces différentes et non seulement l'interface scientifique normalisée, comme par exemple des interfaces de jeux interactifs. C'est la raison principale pour laquelle nous avons fait cette révision. Nous sommes maintenant prêts à entreprendre la prochaine étape du projet Lenfest Ocean Futures (www.lenfestoceanfutures.org).

Le projet Lenfest Ocean Futures a pour objet de déterminer comment les approches actuelles de gestion des pêches peuvent être modifiées de sorte à être plus responsables des points de vue social, économique et écologique. Une nouvelle approche de gestion des pêches sera élaborée. Pour ce faire, on modélisera des écosystèmes avec EwE et on visualisera les résultats sous forme graphique, puis on analysera des scénarios de gestion dans le cadre d'ateliers. Le projet repose sur le développement de trois composants techniques : optimisation du système logiciel écologique [Ecopath-Ecosim (EwE)], développement d'un logiciel de jeux interactifs et visualisation sous

[1] Ecopath with Ecosim version 6 (EwE6) is available for free download from www.ecopath.org. / La version6 de Ecopath-Ecosim peut être téléchargée gratuitement de www.ecopath.org.

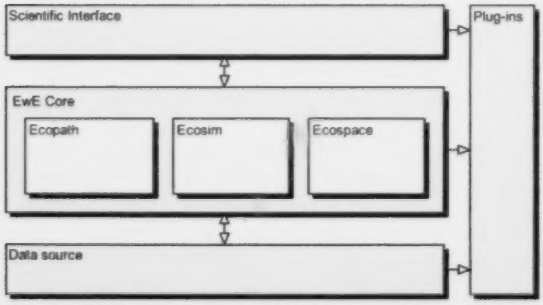
[2] EwE6 has been developed by Joe Buszowski, Villy Christensen, Fang Gao, Joe Hui, Sherman Lai, Jeroen Steenbeek, Carl Walters and Will Walters. / Joe Buszowski, Villy Christensen, Fang Gao, Joe Hui, Sherman Lai, Jeroen Steenbeek, Carl Walters et Will Walters sont les réalisateurs de la version 6 de Ecopath-Ecosim.

the impact humans have through fishing activities on the ecosystems. The activity will thus serve in support of ecosystem-based management of fisheries, while offering a possibility for a group of managers to quickly explore alternative scenarios and evaluate the potential outcome.

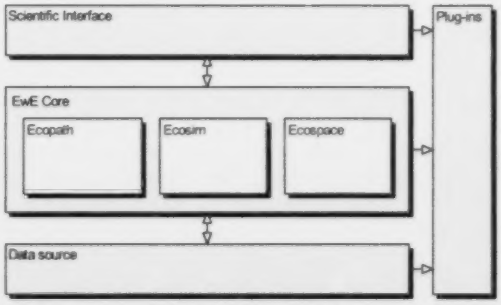
During the many years we have developed EwE it has grown to a very complex and capable approach for ecosystem-based management of aquatic ecosystems (or for an ecosystem-approach to fisheries as FAO terms it). As discussed above, this has led to very wide-spread use of EwE, to the degree that there are now active projects and very capable modellers using the approach in most fisheries nations throughout the world. The group of developers has, however, remained quite small, with most being attached to the UBC Fisheries Centre. This, we find, is related to how the 'old' EwE5 was structured with one big, interlinked coding block. If a developer, as has happened, wanted to create a new module for EwE5 this would entail going into the existing code, find the variables of interest, adding new variables, adding new forms, etc. While all very feasible and quite straightforward to do, there was a major hurdle: maintenance. Whenever the core developer group (i.e. Carl Walters and Villy Christensen) updated the master source code, the 'private' versions would be left behind; the developer would have to download the new master code, and then integrate the new modules again. This process would often have to be repeated numerous times, and we see this as a major reason for why the group of EwE developers has remained quite small.

forme graphique des impacts de la pêche sur les écosystèmes. Cette activité viendra appuyer la gestion écosystémique des pêches tout en offrant la possibilité à un groupe de gestionnaires d'analyser rapidement d'autres scénarios et d'en évaluer les résultats potentiels.

Au fil de son développement, EwE est devenu un modèle très complexe et très utile pour la gestion centrée sur les écosystèmes aquatiques (ce que la FAO appelle l'approche écosystémique de la pêche). Comme il l'a été mentionné plus haut, cela a mené à l'utilisation généralisée d'EwE, au point où le modèle est utilisé pour des projets en cours et par des modélisateurs très compétents dans la plupart des pays pêcheurs du monde. Le groupe de réalisateurs est toutefois demeuré assez petit, la plupart étant rattachés au Fisheries Centre de l'UBC. Selon nous, cela découle du fait que la structure du « vieux » modèle EwE5 s'articulait autour d'un bloc de codage relié. Si un réalisateur voulait créer un nouveau module pour EwE5, ce qui s'est produit, il faudrait qu'il entre dans le code existant, trouve les variables d'intérêt, ajoute de nouvelles variables et de nouvelles formes, etc. Bien que cela soit parfaitement faisable et facile à faire, il y avait un obstacle de taille : la maintenance. Chaque fois que le noyau de réalisateurs (Carl Walters et Villy Christensen) mettait le code source principal à jour, les versions « privées » ne l'étaient pas. Les réalisateurs devaient donc télécharger le nouveau code principal et intégrer les nouveaux modules à nouveau. Ce processus devaient souvent être répété à de nombreuses reprises. D'après nous, c'est la principale raison qui explique pourquoi le groupe de réalisateurs d'EwE est demeuré petit.



The new EwE6 is developed with a computational core that communicates with the data source and the scientific interface, as well as with 'plug-ins'. The plug-ins may implement new interfaces (e.g. gaming), new scientific routines, and extract customized results.



Le nouveau modèle EwE6 possède un noyau de calcul qui communique avec la source de données et l'interface scientifique, ainsi que des unités enfichables. Ces unités peuvent appliquer de nouvelles interfaces (p. ex. jeux) et de nouvelles routines scientifiques, et extraire des résultats personnalisés.

With EwE6 we have broken with the past. The new version is programmed fully object-oriented,

EwE6 nous a permis de rompre avec le passé. Il est pleinement programmé par objets, ce qui

which serves to ensure code integrity and to facilitate multiple developers working on the code simultaneously. We have thus had six developers working on the source code in parallel, and updating the code daily through a web-based version control system.

To enable external developers (who can get access to the web-based source code on request) to create and easily maintain new modules, we have developed a 'plug-in' system, which makes it possible to query the computational core at a number of breakpoints, and then to replace sequences of the calculations, perform new calculations, obtain or pass on variable values for instance to display results, or in other ways modify the program flow. The plug-in system is also capable of accepting new modules, which if dropped in the program folder that holds EwE6, will integrate in the Navigator and menu-system of EwE6, without a recompilation of the program being necessary.

A major aspect that is being facilitated through EwE6 is that it thus allows for customization of the approach. An example; if an agency office wants to present some specific analysis and results to a fisheries management council, they can straightforwardly develop a new interface for EwE6, and it can be customized with exactly what needs to be included. It can thus be under the control of the agency; yet, they can benefit from the shared facilities in form of data storage systems, etc., which will facilitate both the development and management as well as making it easier to cooperate with other agency offices working with other versions.

EwE6 can also be called from other programming environments, for instance from R. Given the rapid development of this environment (from which we have learned in the design of EwE6), we see this as an especially promising avenue. It is thus possible to create routines for analysis in R that can call the EwE6 libraries, for instance to run Ecosim, while giving and obtaining parameter estimates. We expect this facility to be especially important for model comparisons.

Our focus with the redevelopment has up to now been on porting/redeveloping the existing capabilities of EwE (5), and as we are about to

permet d'assurer l'intégrité du code source et de faciliter la tâche aux réalisateurs qui y travaillent simultanément. Nous avons déjà vu six réalisateurs y travailler en parallèle, et, chaque jour, ils le mettent à jour en utilisant une version du système de contrôle en ligne.

Afin de permettre aux réalisateurs externes (qui peuvent obtenir accès au code source en ligne sur demande) de créer et d'actualiser facilement de nouveaux modules, nous avons développé un système de connexion, qui permet d'interroger le noyau de calcul à un certain nombre de points d'arrêt, puis de remplacer des séquences des calculs, de faire de nouveaux calculs, d'obtenir ou de transmettre des valeurs variables pour, par exemple, afficher les résultats, ou de modifier autrement le déroulement du programme. Le système de connexion peut aussi accepter de nouveaux modules qui, s'ils sont mis dans le dossier du programme abritant EwE6, seront intégrés au navigateur et au menu d'EwE6 dans qu'une recompilation du programme soit nécessaire.

Un aspect important d'EwE est qu'il facilite l'adaptation de l'approche. Par exemple, si un bureau d'une agence veut présenter une analyse et des résultats particuliers à un conseil de gestion des pêches, il peut facilement développer une nouvelle interface pour EwE6 et il peut l'adapter avec exactement ce qui doit être inclus. Même si elle est donc sous le contrôle du bureau de l'agence, ce dernier peut encore tirer parti des ressources partagées, comme les systèmes de stockage de données, ce qui facilitera le développement et la gestion de l'interface, ainsi que la coopération avec d'autres bureaux de l'agence qui utilisent d'autres versions.

EwE6 peut aussi être appelé à partir d'autres environnements de programmation, par exemple R. Comme cet environnement (qui nous a servi lors de la conception d'EwE6) connaît un développement rapide, nous le considérons comme particulièrement prometteur. Il est ainsi possible de créer des routines pour analyse dans R qui peuvent appeler les bibliothèques d'EwE6, par exemple pour passer Ecosim, et donner et obtenir des estimations de paramètres dans un même temps. Nous nous attendons à ce que cette installation soit particulièrement importante pour la comparaison de modèles.

Jusqu'à maintenant, nous avons mis l'accent sur l'adaptation et le redéveloppement des capacités existantes d'EwE5. Nous sommes sur le point de

declare this part of the development done ("mission accomplished", you remember), we can focus on new elements. One development worth noting is a zoning tool, Ecoseed which will form part of the EwE6 spatial modelling approach, Ecospace. This development is being funded by the David and Lucile Packard Foundation through the Duke University EBM-Tools Development Innovation Fund, and involves building a 'bridge' between Ecospace and MARXAN, a very widely used zoning tool.

déclarer que nous avons réussi à le faire, ce qui nous permettra de cibler nos efforts sur de nouveaux éléments. Un développement digne de mention est Ecoseed, un outil de découpage en zones, qui constituera un élément de l'approche de modélisation spatiale Ecospace d'EwE6. Le développement d'Ecoseed est financé par la David and Lucile Packard Foundation par le biais du EBM-Tools Development Innovation Fund de l'université Duke. Un « pont » sera construit entre Ecospace et MARXAN, un outil de découpage en zones très souvent utilisé.

While the development of EwE6 will continue for the foreseeable future we are now reaching the stage with it where we can start thinking about user support. Two initial training courses are thus planned for early 2008. One will be in South East Asia and will focus on participants in the GEF/LME projects in the region, while the second will be hosted by the Guinea Current LME project in Ghana, and likely will involve participation from 19 West African countries.

Bien que le développement d'EwE6 se poursuivra dans un avenir rapproché, nous sommes sur le point d'arriver à l'étape où nous pouvons commencer à penser à l'assistance des utilisateurs. Deux premiers cours de formation seront donc offerts au début de 2008, un en Asie du Sud-Est pour les participants aux projets GEM/FEM menés dans la région et l'autre au Ghana, pour le projet GEM du courant de Guinée, auquel 19 pays de l'Afrique de l'Ouest participeront probablement.

Discussion

Discussion

The discussion focused on two main issues: the functional response and documentation and coding of EwE. EwE uses the foraging arena approach represent feeding interactions and as such, the functional response is an emergent property of the model, rather than a modelled process. However it was questioned how well the foraging arena performs in comparison to a modelled Type II or III functional response. With the advent of EwE6, users can plug in any type of functional response that they want. In fact, other users such as Kerim Aydin (NMFS, AFSC) have already plugged and played with different functional responses in Ecosim. The foraging arena concept is one approach to modelling consumption, but you can have more than one. Fundamentally it is important to look at all the different model assumptions.

La discussion porte sur deux points essentiels : la documentation et la réponse fonctionnelle ainsi que le codage d'EwE6. EwE6 utilise l'approche des patrons des interactions trophiques pour représenter les interactions alimentaires, ce qui signifie que la réponse fonctionnelle est une propriété émergente du modèle plutôt qu'un processus modélisé. On met en doute la performance de cette approche en comparaison d'une réponse fonctionnelle modélisée de type II ou III. Avec EwE6, les utilisateurs peuvent entrer le type de réponse fonctionnelle qu'ils veulent. D'ailleurs, Kerim Aydin (NMFS, AFSC) a déjà entré des réponses différentes dans Ecosim puis les a manipulées. Les patrons des interactions trophiques sont une approche de modélisation de la consommation, mais plus d'une peut être utilisée. Il est essentiel de considérer toutes les différentes hypothèses du modèle.

There are 200+ data sets that can be worked with using the new EwE6 to develop new modules. Villy would like to see a workshop in how to program models for plug-ins to EwE6. EwE is written in ".NET", which some complained is not the best environment to work in. Others have already programmed EwE in other languages (e.g, Kerim Aydin (NMFS, AFSC) in C; Steve Martell (UBC) in R. However, the documentation of EwE is not adequate to code

EwE6 peut être appliqué à plus de 200 séries de données pour développer de nouveaux modules. Villy aimerait tenir un atelier sur la programmation de modèles pour les brancher à EwE6. EwE6 est écrit en langage .NET. Certains se plaignent que ce n'est pas le meilleur environnement, alors que d'autres l'ont déjà programmé en d'autres langages [Kerim Aydin (NMFS, AFSC), en C; Steve Martell (UBC), en R]. La documentation n'est toutefois pas adéquate pour coder EwE6

EwE without the help of the developers. Villy agreed that documentation is important and should be better.

Break-Out Group Discussion – Ecopath with Ecosim

Usability
EwE has the most developed user interface of any of the modelling tools considered. Partially due to this user friendly interface, EwE has a low learning curve and can easily be used by non-modellers. The wide global use of EwE also means that there is a large user community with lots of experience; along with the user support provided through the Ecopath website, users have plenty of opportunity to get help on the use of EwE. While EwE was generally acknowledged to be the easiest of the modelling tools to implement, lots of expertise is needed to understand the model output.

Costs
EwE is a low cost option to implement ecosystem modelling. The software is available for free download, and requires relatively little training and no programming to learn to use. Even so, application of EwE to ecosystem approaches to management is not a hobby project, but requires devoted resources, particularly personnel.

Requirements
Rough data for an initial version of an Ecopath model can be compiled relatively quickly, however, it can take years to get together all the data to adequately build and document an ecosystem model using EwE. Data requirements include biomass (B), mortality (Z), consumption (Q), diets, and fishery catches (Y) for each group in the model as well as fleet information and time series data for B, Z, Y, and/or effort. These data requirements are some of the most intensive for any of the modelling tools considered except Atlantis which has similar types of data requirements.

Model Structure
The EwE software can be used to get at some of the questions surrounding confidence in parameters. However, the sensitivity analysis is limited (primitive) and is not particularly useful for dealing with parameter uncertainty. Furthermore,

sans l'aide des réalisateurs. Villy reconnaît que la documentation est importante et qu'elle devrait être meilleure.

Discussion en petits groupes – Ecopath-Ecosim

Convivialité
EwE est l'outil de modélisation étudié dont l'interface utilisateur est la plus développée. En partie grâce à cette interface conviviale, la courbe d'apprentissage d'EwE est douce, ce qui en fait pour les non-modélisateurs un modèle facile à utiliser. Comme il est largement utilisé à l'échelle mondiale, les utilisateurs sont nombreux et chevronnés, et ils ont pleinement accès à l'assistance qui leur est offerte par le biais du site Web d'Ecopath. Bien qu'EwE soit généralement reconnu comme étant l'outil de modélisation le plus facile à appliquer, il faut beaucoup de connaissances techniques pour en comprendre les sorties.

Coûts
EwE est un moyen de modélisation d'écosystème peu coûteux. Le logiciel peut être télécharger gratuitement; son apprentissage requiert relativement peu de formation, mais aucune programmation. Il reste que l'application d'EwE à des approches de gestion écosystémiques n'est pas un passe-temps; des ressources doivent y être consacrées, en particulier du personnel.

Exigences
Les données de base requises pour élaborer une première version d'un modèle Ecopath peut être rassemblées relativement vite, mais il peut prendre des années pour rassembler toutes les données nécessaires pour élaborer et documenter un modèle d'écosystème avec EwE. Des données sur la biomasse (B), la mortalité (Z), la quantité de nourriture consommée (Q), les régimes alimentaires et les ponctions de la pêche (Y) pour chaque groupe modélisé, ainsi que des renseignements sur les flottilles et des séries de données chronologiques pour B, Z, Y et/ou l'effort sont requises. Ces exigences comptent parmi les plus élevées de tous les outils de modélisation analysés sauf Atlantis, dont les exigences en matière de données sont semblables.

Structure du modèle
Le logiciel EwE peut être utilisé pour répondre à certaines des questions sur le niveau de confiance des paramètres. Toutefois, l'analyse de sensibilité est limitée (primitive), ce qui fait qu'elle n'est pas particulièrement utile pour déterminer l'incertitude

the sensitivity analyses that are included have not been well explored or utilised. The latest implementation of the Ecopath software (EwE6) has been re-designed to allow users to add plug-ins or to call model components from other programming environments (e.g., R), allowing users to add functionality. The main component of EwE that attracts the greatest criticism/concern is the assumption that species interactions occur in foraging arenas where prey behaviour limits predation. EwE developers consider the foraging arena, and the vulnerability (□) parameter, to be a flexible representation of the functional response that mainly differs from Holling's functional responses by incorporating prey behaviour. However, this ecological assumption was viewed by some as being controversial and difficult to change in the model. The new ability to develop plug-ins for EwE6 will allow users to explore alternative functional responses.

Applicability

EwE has been used for management as a strategic tool and has been used as a heuristic tool to engage stakeholders. The best example of its use as a strategic tool for management is in the Gulf of Alaska where Ecosim results combined with MSVPA helped set a reduction in Pollock quotas. Ecopath or inverse model results have been used in some DFO stock assessment documents. While EwE has not been used to set reference points, it could be. Other ecosystem components, basically anything included in the model, can be examined in addition to the stock of interest. EwE has limited functionality for examining the risks of failing to achieve management objectives, but it can be used to simulate high level objectives.

Pros, Cons, and Limits

The main advantages to the EwE approach are that it is versatile, accessible and adaptable, it has a low learning curve with plenty of support, it forces a joint language, and it has fast runtimes for almost all components except some routines within Ecospace. The main disadvantage is that the accessibility and low learning curve also lend EwE to misuse when it is applied inappropriately for management. EwE is limited by our ecological knowledge about the mechanics of responses to novel situations and a model structure that can not handle invasive species.

entourant les paramètres. En outre, les analyses incluses n'ont pas été bien explorées ou utilisées. La dernière application du logiciel (EwE6) a été remodelée de sorte à permettre aux utilisateurs d'ajouter des modules d'extension ou d'appeler des éléments du modèle d'autres environnements de programmation (p. ex. R), ce qui leur permet d'ajouter des fonctionnalités. Le principal élément d'EwE le plus critiqué/le plus préoccupant est l'hypothèse à l'effet que les interactions interspécifiques se produisent dans des aires d'alimentation où le comportement des proies limite la prédation. Les réalisateurs d'EwE considèrent l'aire d'alimentation et le paramètre de vulnérabilité (□) comme une représentation souple de la réponse fonctionnelle qui diffère principalement des réponses fonctionnelles de Holling de par l'inclusion du comportement des proies. Certains sont d'avis que cette hypothèse écologique est controversée et difficile à modifier dans le modèle. La capacité d'ajouter des modules à EwE6 permettra aux utilisateurs d'explorer des réponses fonctionnelles de rechange.

Applicabilité

EwE a été utilisé comme outil de gestion stratégique et comme outil heuristique pour engager les intervenants. Le golfe de l'Alaska est le meilleur exemple de son utilisation comme outil de gestion stratégique; les résultats d'Ecosim et une MSVPA ont été utilisés pour réduire les quotas de goberge. Le MPO a utilisé les résultats d'Ecopath ou du modèle inverse dans des évaluations de stock. Bien qu'EwE n'ait pas été utilisé pour établir des points de référence, il pourrait l'être. D'autres composantes d'un écosystème, en fait tout ce qui est inclus dans le modèle, peuvent être analysées, en plus du stock étudié. La fonctionnalité d'EwE est limitée pour l'analyse des risques que les objectifs de gestion ne seront pas atteints, mais on peut s'en servir pour simuler des objectifs de haut niveau.

Avantages, désavantages et limites

Les principaux avantages de l'approche EwE sont sa polyvalence, sa facilité d'utilisation et son adaptabilité. Elle est facile à apprendre, de l'appui est largement disponible, le langage est connu et le passage de tous les modules, sauf quelques routines dans Ecospace, est rapide. Le fait que EwE soit facile à apprendre et à utiliser est son principal désavantage car elle se prête à l'usage abusif lorsqu'elle est appliquée mal à propos à des fins de gestion. Le manque de connaissances écologiques sur la mécanique des réactions à de nouvelles situations et le fait que la structure du modèle est incapable de prendre en charge les

Atlantis Modelling Framework

Elizabeth A. Fulton, CSIRO, Australia

At its broadest, management strategy evaluation (MSE) involves assessing the consequences of a range of management strategies (or options) and presenting the results so it is clear what the tradeoffs in performance are across a range of management objectives and under a range of possible conditions. This approach does not seek to proscribe an optimal strategy or decision; rather it seeks to provide the decision maker with the information with which to make rational decisions, given their own objectives, preferences, and attitudes to risk. The MSE approach typically uses simulations, which model each part of the adaptive management cycle. Atlantis is a deterministic biogeochemical whole of ecosystem model built specifically around this approach, including modules for each of the major steps in the adaptive management cycle.

Atlantis' biophysical sub-model is coarsely spatially-resolved in three dimensions, using a set of polygons (and layers) matched to the major geographical and bioregional features of the simulated marine system to represent the physical environment. Environmental properties (sediment and water column characteristics) are provided for each cell (each layer of each polygon) and biological model components are also replicated in each cell, with movement between the polygons via advective transfer or directed movements depending on the variable in question. The model also tracks nutrient flows (usually of nitrogen and silica) through the main biological groups in the system and closes the nutrient cycles. The primary ecological processes modelled are consumption, production, waste production, migration, predation, recruitment, habitat dependency, and mortality. The trophic resolution is typically at the functional group level. Invertebrates are typically represented as biomass pools, while vertebrates are represented using an explicit age-structured formulation.

Similar degrees of detail have been included in Atlantis' industry (or exploitation) sub-model. This sub-model focuses on the fisheries sector (including recreational fishing), but also includes

espèces envahissantes limitent l'utilisation d'EwE.

Cadre de modélisation Atlantis

Elizabeth A. Fulton, CSIRO, Australie

À la limite, l'ESG comprend l'évaluation des conséquences d'une gamme de stratégies (ou d'options) de gestion et la présentation des résultats afin de savoir clairement quels seront les compromis de rendement à faire en regard d'une gamme d'objectifs de gestion et de conditions possibles. Cette approche ne vise pas à interdire une stratégie ou une décision optimale mais plutôt à fournir au décideur les renseignements dont il a besoin pour prendre des décisions rationnelles compte tenu de ses objectifs, de ses préférences et de son attitude envers le risque. L'ESG fait typiquement appel à des simulations, qui permettent de modéliser chaque partie du cycle de gestion adaptative. Le modèle d'écosystème Atlantis, modèle bio-géochimique déterministe, s'appuie nommément sur cette approche; il comprend des modules pour chacune des principales étapes du cycle de gestion adaptative.

Le sous-modèle biophysique d'Atlantis est grossièrement résolu à l'échelle spatiale en trois dimensions. Une série de polygones (et de couches) concordant aux principales caractéristiques géographiques et biorégionales du système marin simulé est utilisée pour représenter le milieu physique. Les propriétés environnementales (caractéristiques des sédiments et de la colonne d'eau) sont fournies pour chaque cellule (chaque couche de chaque polygone) et les composantes biologiques du modèle sont aussi dupliquées dans chaque cellule, le déplacement entre les polygones par transfert advectif ou les déplacements dirigés dépendant de la variable en question. Le modèle dépiste aussi le transfert de nutriments (habituellement l'azote et la silice) entre les principaux groupes biologiques du système et boucle les cycles des nutriments. La consommation, la production, la production de déchets, les migrations, la prédation, le recrutement, la mortalité et la dépendance à l'habitat sont les processus écologiques primaires modélisés. La résolution trophique se situe typiquement au niveau du groupe fonctionnel. Les invertébrés sont typiquement représentés comme des bassins de biomasse et les vertébrés, à l'aide d'une formule explicite structurée selon l'âge.

Des niveaux de détail semblables sont inclus dans le sous-modèle d'exploitation, centré sur le secteur des pêches (y compris les pêches récréatives), mais il prend aussi en charge le potentiel d'impact

the potential for impact of pollution, coastal development and broad-scale environmental (e.g. climate) change. The model allows for multiple fleets and each can have its own gear selectivity, habitat association, targeting, effort allocation and management structures. The complexity of the alternative fleet dynamics models range from simple catch equations or fishing mortality rates through to formulations that include explicit handling of economics, compliance decisions, exploratory fishing and other complicated real world concerns such as quota trading and high grading.

de la pollution, le changement environnemental (p. ex. changement climatique) à grande échelle et l'aménagement du littoral. Le modèle admet des flottilles multiples, chacune pouvant avoir ses propres structures de sélectivité d'engin, d'association d'habitat, de cible et d'allocation d'effort. Les autres modèles de dynamique de flottille vont de simples équations de calcul des prises ou des taux de mortalité par pêche à des formules tenant compte explicitement de l'économie de la pêche, des décisions de conformité, de la pêche exploratoire et d'autres préoccupations compliquées du monde réel, comme l'échange de quotas et l'écrémage.

The exploitation model interacts with the biotic part of the ecosystem, but also supplies 'simulated data' to the sampling and assessment sub-model. The sampling and assessment sub-model in Atlantis is designed to generate sector dependent and independent data with realistic levels of measurement uncertainty evaluated as bias and variance. These simulated data are based on the outputs from the biophysical and exploitation sub-models, using a user-specified monitoring scheme. The data are then fed into the same assessment models used in the real world, and the output of these is input to a management sub-model. This last sub-model is typically a set of decision rules and management actions (currently only detailed for the fisheries sector), which can be drawn from an extensive list of fishery management instruments, including: gear restrictions, days at sea, quotas, spatial and temporal zoning, discarding restrictions, size limits, bycatch mitigation, and biomass reference points.

Le modèle d'exploitation interagit avec la partie biotique de l'écosystème, mais il fournit aussi des « données simulées » au sous-modèle d'échantillonnage et d'évaluation. Ce dernier est conçu de sorte à générer des données dépendantes et indépendantes du secteur; des niveaux réalistes d'incertitude de mesure sont évalués et présentés sous forme de biais et de variance. Un schéma de monitorat défini par l'utilisateur permet d'obtenir ces données simulées, qui reposent sur les extrants des sous-modèles biophysique et d'exploitation. Elles sont ensuite alimentées dans les mêmes modèles d'évaluation utilisés dans le monde réel, et les extrants de ceux-ci sont saisis dans un sous-modèle de gestion. Ce dernier est typiquement un ensemble de règles de décision et de mesures de gestion (couchées en termes précis seulement pour le secteur des pêches à l'heure actuelle), qui peuvent être tirées d'une longue liste d'instruments de gestion des pêches (restrictions sur les engins, nombre de jours de mer, zonage spatial et temporel, restrictions sur les rejets, limites de taille, quotas, réduction des prises accessoires et points de référence de la biomasse).

There are a considerable number of assumptions associated with any single application of Atlantis; the exact nature of these assumptions is dependent on which of the options available in Atlantis are actually chosen. While the model does include representation of many sub-grid scale processes its deterministic form means it does still contain many mass action simplifications for the finest resolutions it resolves (e.g. at the level of functional groups or patches within cells). To date the range of models developed (17 with 3 more proposed) have ranged from simple nutrient and plankton models (for the Clarence River in Australia) through to a whole of ecosystem model (including 60 ecological groups and 33 fleets) with social and

Toute application d'Atlantis repose sur un nombre considérable d'hypothèses, dont la nature exacte dépend des options choisies. Bien que le modèle permet de représenter de nombreux processus d'échelle inférieure à la maille, sa forme déterministe signifie qu'il contient encore de nombreuses simplifications de l'action de masse pour les plus petites résolutions qu'il résout (p. ex. au niveau de groupes fonctionnels ou de carreaux dans des cellules. Les modèles bâtis jusqu'à maintenant (17, et trois autres proposés) vont d'un simple modèle des nutriments et du plancton (pour la rivière Clarence, en Australie) à un modèle d'écosystème entier (incluant 60 groupes écologiques et 33 flottilles) prenant en charge les moteurs sociaux et économiques d'allocation de

economic drivers of effort allocation. There are four main steps followed in each of these studies, though not all four steps are mandatory and valuable insight can be derived from each step even without progressing to later steps. The calibration of the ecological components and construction of the biophysical model is a universal first step; from there studies may progress through (i) forcing catch histories to (ii) representing dynamic fisheries and (iii) projecting system behaviour under alternative management strategies. Execution of these steps can provide insight into the system by synthesising information, identifying key processes, simulating possible ecosystem responses to large scale change (e.g. climate change) and determining management components such as ecosystem-level reference points. The MSE approach is also useful for checking monitoring schemes and assessment methods (including the implications of variation and error), evaluating the performance of management strategies and identifying tradeoffs between management objectives. In total, this makes Atlantis a useful strategic tool, though it is not suited to the majority of tactical management questions. The range of issues it has already been used to consider include: modelling theory (the effects of complexity on performance); identification of robust indicators of the effects of fishing, system level changes and driving mechanisms, species vulnerable to perturbations; exploration of robust and effective forms of ecosystem-based fisheries management.

As Atlantis models often contain many components and moderate degrees of process details they do require significant amounts of data to parameterise them; though the level of data is associated with the purpose of the model – theoretical models typically relax the list of critical information as generalisations can be made. Nevertheless, it is possible to prioritise the data required. The forms of ecological information required include: abundance (biomass) per cell, vital rates, diets, habitat dependency and habitat maps. For the fisheries catch and effort is required, as is catchability, selectivity, port locations, management regulations, habitat access, discards, target species and prices. If the socioeconomic sub-model is used then additional data needs include costs, crew sizes, trip length, and maintenance needs. For calibration the desirable data increases to include historical catch and

l'effort. Quatre étapes principales sont suivies dans chacune de ces études, mais elles ne sont pas toutes obligatoires; chacune fournit des indications précieuses sans qu'il soit nécessaire de passer à la suivante. L'étalonnage des composantes écologiques et la construction du modèle biophysique sont la première étape commune; de là, les études peuvent passer (i) au forçage de l'historique de prises, (2) à la représentation de la dynamique d'une pêche et (iii) à la projection du comportement d'un système en regard de diverses stratégies de gestion. L'exécution de ces étapes peut fournir des enseignements sur le système car elles permettent de synthétiser les données, d'identifier les processus clés, de simuler les réponses possibles du système à un changement à grande échelle (p. ex. changement climatique) et de déterminer des éléments de gestion, comme des points de référence écosystémiques. L'ESG permet aussi de vérifier les schémas de monitorat et les méthodes d'évaluation (y compris les répercussions de la variation et de l'erreur), d'évaluer le rendement de stratégies de gestion et de trouver des compromis entre les objectifs de gestion. Tous ces éléments font d'Atlantis un outil stratégique utile, bien qu'il ne convienne pas à la plupart des questions de gestion tactiques. Parmi la gamme d'enjeux auxquels il a été appliqué s'inscrivent la théorie de la modélisation (les effets de la complexité sur la performance), l'identification d'indicateurs robustes des effets de la pêche, les espèces vulnérables aux perturbations, les changements au niveau d'un système et les mécanismes d'entraînement et l'exploration de formes robustes et efficaces de gestion écosystémique des pêches.

Comme les modèles Atlantis contiennent souvent de nombreuses composantes et des niveaux moyens de détails des processus, il faut d'importantes quantités de données pour les paramétrer, bien que cela dépende du but du modèle. Les modèles théoriques réduisent typiquement la liste des données essentielles car des généralisations peuvent être faites. Il est malgré tout possible de prioriser les donnés requises. Les données écologiques requises incluent l'abondance (la biomasse) par cellule, les indices vitaux, les régimes alimentaires, la dépendance à l'habitat et des cartes de l'habitat. Pour les pêches, des données sur les prises et l'effort sont requises, ainsi que des données sur le potentiel de capture, la sélectivité des engins, l'emplacement des ports, les règles de gestion, l'accès à l'habitat, les rejets, les espèces ciblées et les prix. Si le sous-modèle socioéconomique est utilisé, les autres données requises incluent les

abundance time series.

coûts, le nombre de membres d'équipage, la durée des sorties et les dépenses d'entretien. Pour l'étalonnage, des séries chronologiques de données sur les prises et l'abondance historiques sont également recherchée.

The aim when validating Atlantis is to produce plausible ecological alternatives that span the system uncertainty while reproducing observed (biological and fisheries) time series. There are many forms of uncertainty to consider with Atlantis and the size of the models does not make this an easy task (it quickly overwhelms classical assay methods). Parametric uncertainty is a considerable issue in itself, as interdependencies (feedbacks and combinatoric potential sensitivities) mean that classical sensitivity analysis is of little use. Instead simple bounding parameterisations and perturbation challenges are used, though Bayesian hierarchical methods may provide potential too. An even larger potential uncertainty is associated with the actual structure of the system being represented, structural uncertainty (e.g. which groups are marked as interacting) is often far greater and harder to deal with than parametric uncertainty and multiple model representations are encouraged. Overall, the methods that are proving most useful for dealing with structural and parametric uncertainty and calibration are qualitative methods such as loop analysis and quantitative methods such as pattern-oriented modelling (which uses multiple data-sets, multiple parameters and simultaneous fitting to constrain the model as much as possible).

Le but de la validation d'Atlantis est de produire des options écologiques plausibles qui couvrent l'incertitude du système et de reproduire dans un même temps les séries chronologiques de données sur les pêches et de données biologiques observées. De nombreuses formes d'incertitude doivent être considérées, et la taille des modèles complique la tâche (les méthodes d'évaluation classiques sont vite dépassées). Le degré d'incertitude paramétrique est un problème d'envergure; l'interdépendance (rétroaction et sensibilité potentielle combinatoire) signifie que l'analyse de sensibilité classique est peu utile. Le paramétrage simple de borne et la simulation de perturbations sont utilisés plutôt, quoique les méthodes bayesiennes hiérarchiques peuvent également être utiles. La structure réelle du système représenté peut présenter une incertitude encore plus grande; l'incertitude structurelle (quels groupes sont marqués comme étant en interaction) étant souvent plus grande et plus difficile à prendre en charge que l'incertitude paramétrique, l'utilisation de modèles multiples est encouragée. En général, les méthodes qui se révèlent le plus utiles pour faire l'étalonnage et prendre en charge l'incertitude structurelle et l'incertitude paramétrique sont des méthodes qualitatives telle l'analyse de boucle et des méthodes quantitatives telle la modélisation orientée formes (qui fait appel à des séries multiples de données, des paramètres multiples et l'ajustement simultané pour contraindre le modèle autant que possible).

Atlantis is not the simplest or easiest model to use - it has no GUI interface and has long calibration and run times. Steps are being taken to remedy this (e.g. development of more user friendly GUI, supporting software is accumulating and documentation is accreting), but this model will never be rated as easy. In particular, while many users will find an existing model relatively easy to play with, development of new models is always a substantial effort. This difficulty, along with only a crude handling of biodiversity and only simple handling of uncertainty are definitely the greatest weaknesses of the approach. In contrast, the greatest strengths of the Atlantis approach are its flexibility, the explicit handling of space and biophysical and environment factors, inclusion of critical processes (even if at sub-grid

Atlantis n'est pas le modèle le plus simple ou le plus facile à utiliser; il n'a pas d'interface GUI et la durée de l'étalonnage et de l'exécution est longue. Des mesures sont prises pour remédier à ces problèmes (développement d'une interface GUI plus conviviale, documentation et logiciels de soutien), mais Atlantis ne sera jamais considéré comme étant facile à utiliser. Notamment, alors que de nombreux utilisateurs trouveront un modèle existant relativement facile à manipuler, le développement de nouveaux modèles requiert toujours beaucoup d'effort. Cette difficulté, ainsi que la prise en charge simple de l'incertitude et la prise en charge grossière de la biodiversité, sont définitivement les plus grandes faiblesses de l'approche. En revanche, la souplesse, la prise en charge explicite de facteurs spatiaux, bio-

scale) and the coupled MSE structure. Like all ecosystem models it requires careful use if it is to be used well.

Discussion

Most of the discussion of Atlantis concerned its utility given that it is a very large model, which only a few people in the world can currently use. The suggestion was made that empirically derived indicators seem to perform better than complex models, so why bother with the latter? In response, it was noted that it really depends on the questions being asked. Indicators are better for tactical management, whereas models can be used for strategic as well as tactical, and can further understanding of sustainable exploitation. Indicators are very useful, but we need other kinds of learning too, for example, can indicators let you know when you have hysteresis?

Essentially Atlantis is a modular platform, and the developers want to move down the same route as EwE6 and encourage users to develop their own modules. There are papers that lay out the central equations for Atlantis (and EwE6) and it is up to the user to decide which equations to use. Advice is to avoid reinventing all lines of code since many deal with record keeping and memory handling. Small part deals with the heart of the process. The aim is to help creativity by using a modular approach without having to do all the 10 years of support to get the GUI. We should use scientific models to inform process. For example, Jason Link has funded the writing of the "data availability calculator" for Atlantis, and supporting software like this is accumulating. The idea is to develop tools that can stand alone and be used in different contexts. The more the ecological modelling community interacts in these kind of things, then things will move faster.

In general discussion it was noted that the concept of what is a "complex" or a "simple" model actually has a number of dimensions. Models like Atlantis may appear complex due to the number of parts that are potentially available, but the individual models may not be particularly

physiques et environnementaux, l'inclusion de processus critiques (même si ce n'est qu'à l'échelle de sous-grille) et la structure couplée ESG sont ses plus grandes forces. Comme tous les modèles d'écosystème, il doit être bien utilisé pour obtenir de bons résultats.

Discussion

L'utilité d'Atlantis, compte tenu du fait que c'est un modèle très complexe que seules quelques personnes savent utiliser dans le monde, est au coeur de la discussion. Comme les indicateurs empiriquement dérivés semblent être plus performants que les modèles complexes, pourquoi utiliser ceux-ci? Cela dépend en fait des questions posées. Les indicateurs s'appliquent mieux à la gestion tactique, alors que les modèles peuvent être utilisés tant à des fins stratégiques que tactiques; en outre, ils permettent de mieux comprendre l'exploitation durable. Les indicateurs sont très utiles, mais nous avons aussi besoin d'autres indications. Par exemple, est-ce que les indicateurs vous laissent savoir qu'une hystérésis se produit?

Atlantis est essentiellement une plateforme modulaire, et les réalisateurs veulent aller dans le même sens que EwE6, c'est-à-dire qu'ils encouragent les utilisateurs à développer leurs propres modules. Les équations centrales d'Atlantis (et d'EwE6) ont été publiées, et c'est à l'utilisateur de décider lesquelles il utilisera. Il faut éviter de réinventer toutes les lignes de code car nombre d'elles traitent la tenue d'archives et la gestion mémoire. Une petite partie prend en charge le cœur du processus. Le but est d'aider la créativité; une approche modulaire est donc utilisée, ce qui permet d'éviter de refaire les dix années de développement de l'interface GUI. Nous devrions utiliser des modèles scientifiques pour alimenter le processus. Par exemple, Jason Link a financé l'écriture de la calculatrice de disponibilité de données pour Atlantis, et des logiciels de soutien de ce type sont de plus en plus disponibles. L'idée est de développer des outils autonomes qui peuvent être utilisés dans des contextes différents. Plus la communauté des modélisateus écologiques interagira, plus les choses avanceront rapidement.

Le concept de ce qui constitue un modèle « simple » ou un modèle « complexe » a de nombreuses dimensions. Des modèles comme Atlantis peuvent sembler complexes en raison du nombre de parties potentiellement disponibles, mais les modèles individuels peuvent ne pas l'être

complex at all. On the other hand some models can achieve an external appearance of simplicity by burying a number of quite complex modelling choices behind some options whose assumptions have complexity that is not apparent.

As with all models, the real test of the simplicity or complexity of Altantis would come when someone were to try to recode the whole model into an open-code system like 'R'. There was some discussion of which language is the "optimal" one for ecosystem modelling. Yet again it was agreed that there is no global optimum. Rather the issue of the most efficient language in which to write a model is completely tied up with the issue of how many users are expected to be developing the model, rather than using an off-the-shelf version of one.

Such modelling tasks become MUCH harder when one has multiple programmers all working on same project. The FAO review showed that *any* mature ecosystem model has become a platform for modelling, whether intended for that role or not. The times when one person wrote an ecosystem model from beginning to end are over. Now all serious modelling is done via work on platforms and work with teams.

The Atlantis approach was the first one discussed during the workshop that explicitly mentioned the socio-economic dimension of natural resource management. We need to build relationships with social scientists in order to bring socio-economics into the process (which needs to be done sooner rather than later). Some of their paradigms are different (for example, economists like to optimize, which we do not do in MSE), which means there are challenges in this process. Note that we also need to be able to validate the results of socio-economic models.

One issue is how to develop an expert system that allows us to understand what in the complicated model is driving results that are not intuitive. The concern is to be able to say why you get the result you got.

Break-Out Group Discussion - Atlantis

Usability

Easily the most complex of any of the modelling tools considered, Atlantis, unlike EwE, currently

du tout. Par contre, certains modèles peuvent paraître simples du fait en enfouissant un certain nombre de choix de modélisation assez complexes dans des options dont les hypothèses sont de complexité non apparente.

Comme dans le cas de tous les modèles, le vrai test de la simplicité ou de la complexité d'Atlantis se produirait si quelqu'un essayerait de le récrire en un système de codes extérieurs comme « R ». Quel est le langage « optimal » pour la modélisation d'écosystème? Tous sont d'accord qu'aucun n'est optimal. La question à savoir quel est le langage d'écriture d'un modèle le plus efficace est plutôt une question totalement reliée à savoir combien d'utilisateurs vont développer le modèle plutôt que d'en utiliser une version du commerce.

De telles tâches de modélisation deviennent BEAUCOUP plus ardues lorsque de multiples programmeurs travaillent sur le même projet. L'examen par la FAO a révélé que *tous* les modèles d'écosystème à maturité sont devenus une plateforme de modélisation, qu'ils aient été destinés à ce rôle ou non. L'époque lorsqu'une personne écrivait un modèle d'écosystème du début à la fin est révolue. Aujourd'hui, toute la modélisation sérieuse se fait sur des plateformes et en équipe.

Le modèle Atlantis est le premier modèle que nous avons étudié qui prend explicitement en charge la dimension socioéconomique de la gestion de ressources naturelles. Nous devons créer des liens avec des spécialistes en sciences sociales de sorte à faire intervenir les aspects socioéconomiques dans le processus (ce qui doit être fait dès que possible). Certains des paradigmes de ces spécialistes sont différents (p. ex. les économistes aiment optimiser, ce que l'ESG ne fait pas), ce qui signifie que ce processus pose des défis. Il faut noter que nous devons aussi pouvoir valider les résultats des modèles socio-économiques.

Il reste à savoir comment développer un système expert qui nous permet de comprendre ce qui, dans le modèle complexe, commande les résultats qui ne sont pas intuitifs car il faut pouvoir expliquer pourquoi nous obtenons ces résultats.

Discussion en petits groupes – Atlantis

Convivialité

Sans aucun doute l'outil de modélisation le plus complexe de tous les outils étudiés, Atlantis, au

lacks a graphic user interface (GUI) and was considered to be relatively inaccessible to non-modellers. Users need a very high level of expertise, both programming skill (in C++) to work with the model and ecological skill to understand the model output. Atlantis also has a very steep learning curve (described as Himalayan), which is not helped by the limited documentation, small user community, and lack of training courses (unlike Ecopath which is taught in some university courses). It is expected that Atlantis will be more accessible once development of a GUI is completed.

Costs

The code for Atlantis is freely available; however, a lot of time is needed to learn the Atlantis modelling framework. A new user could probably learn an existing model with a few hours of instruction; however, the time commitment needed to build a new Atlantis model from scratch is extensive. Dedicated personnel will be needed to use Atlantis, minimally a modeller and data compiler; any new users need to be quantitatively confident and comfortable working directly with the model code.

Requirements

Atlantis has the highest data and skill requirements of any of the models considered. Though the data demands are dependent on the objectives and model features activated. At a minimum, data needs will include habitat maps, historic time series (catch and abundance), biological information for every group (e.g., abundance, spatial distribution, growth, longevity, maturity, reproduction, movement, habitat dependency), fleet information (e.g., effort distributions, catchability, selectivity, habitat access), and socio-economics (e.g., costs, crew, trip length, maintenance needs). Atlantis also requires post-run data handling, which requires additional software.

Model Structure

As can be expected of any large, complex model, many assumptions have been built into the Atlantis modelling framework, however, which assumptions apply will depend on the features that have been activated for a given model. Atlantis models can include age structure, spatial

contraire d'EwE6, n'a pas d'interface graphique. Il est considéré comme étant relativement inaccessible aux non-modélisateurs. Les utilisateurs doivent posséder de très grandes compétences en programmation (C++) pour travailler avec le modèle et en écologie pour en comprendre les extrants. En outre, la courbe d'apprentissage (décrite comme himalayenne) d'Atlantis est très raide, et la documentation limitée, le faible nombre d'utilisateurs et l'absence de cours de formation (au contraire d'Ecopath, qui est enseigné dans certaines universités) n'aident pas les choses. Atlantis devrait être plus facile d'accès lorsqu'une interface graphique aura été développée.

Coûts

Le code pour Atlantis est disponible gratuitement, mais il faut beaucoup de temps pour apprendre son cadre de modélisation. Un nouvel utilisateur pourrait probablement apprendre un modèle existant en quelques heures, mais il faut beaucoup de temps pour bâtir un nouveau modèle Atlantis de zéro. Il faudra du personnel spécialisé pour l'utiliser, dont un modélisateur et un compilateur de données au minimum. Tout nouvel utilisateur doit avoir sûr de ses capacités quantitatives et être à l'aise pour travailler directement avec le code du modèle.

Exigences

Des modèles analysés, Atlantis est le modèle le plus exigeant en données et en compétences, bien que les exigences en données dépendent des objectifs et des caractéristiques du modèle activées. À tout le moins, les données requises incluront des cartes d'habitat, des données biologiques pour tous les groupes (abondance, répartition spatiale, croissance, longévité, maturité, déplacements, dépendance à l'habitat, reproduction), des séries chronologiques de données historiques sur les prises et l'abondance, de l'information sur les flottilles (distribution de l'effort, potentiel de capture, sélectivité des engins, accès à l'habitat) et des données socioéconomiques (coûts, équipage, durée des sorties, dépenses d'entretien). Le modèle requiert également un traitement des données après son passage, ce qui requiert un logiciel additionnel.

Structure du modèle

Comme on peut s'y attendre de tout gros modèle complexe, de nombreuses hypothèses ont été incorporées au cadre de modélisation Atlantis, mais celles qui s'appliqueront dépendront des caractéristiques activées pour un modèle donné. La structure par âge, l'hétérogénéité spatiale, les

heterogeneity, physical and chemical forcing, and species interactions (in fact these are required). Since modelling with Atlantis requires working directly with the code, it is possible to incorporate new features or modify existing assumptions, for example to accommodate alternative functional responses into the model. Due to the large number of model parameters, the ability to incorporate and assess parameter uncertainty is limited; however, with experience the key interdependencies in the modelling framework are being identified which can allow for targeted analyses. Finally, like the other modelling tools discussed, Atlantis uses fixed parameters, which assumes that no evolution is occurring.

Applicability

Atlantis is a strategic tool and has been applied to questions related to modelling theory (the effects of complexity on performance), the identification of indicators, system level changes and the driving mechanisms, species vulnerability to perturbations, and the exploration of robust and effective forms of ecosystem-based management. Atlantis is portable among ecosystems, can be used to identify indicators and reference points, can contribute to the development and evaluation of harvest control rules, and can simulate high level objectives from diverse stakeholders. Its ability to formally examine risks of failing to achieve management objectives was considered to be awkward to moderate.

Pros, Cons, and Limits

Many of the disadvantages identified for Atlantis were related to the size and complexity of the model. For example, diagnostics are limited, uncertainty analyses are not as sophisticated as in simpler models, models are difficult and time consuming to parameterise, initialise and use, outputs need to be distilled for client consumption, the large number of parameters and high model dimensionality make it challenging to understand causes in the model, and it is easy for the model to become too big and complex. It also has some structural properties that are challenging. For instance, the inclusion of gape limitation means that simple definitions of connection matrixes do not wholly define foodwebs, and this makes it less sensitive to variation in diets of predators than mass-balance models. Also it is a process-driven, and

interactions interspécifiques ainsi que le forçage physique et chimique peuvent être inclus dans les modèles Atlantis (en fait, ils sont requis). Comme il faut travailler directement avec le code pour faire de la modélisation avec Atlantis, il est possible d'y inclure de nouvelles caractéristiques ou de modifier les hypothèses existantes, par exemple pour loger des réponses fonctionnelles de rechange dans le modèle. En raison du grand nombre de paramètres, la capacité d'inclure et d'évaluer l'incertitude les entourant est limitée; par contre, grâce à l'expérience acquise, les principales interdépendances dans le cadre de modélisation sont en voie d'être identifiées, ce qui permettra de faire des analyses ciblées. En dernier lieu, comme les autres outils de modélisa-tion examinés, Atlantis utilise des paramètres fixes, ce qui suppose l'absence d'évolution.

Applicabilité

Atlantis est un outil stratégique. Il a été appliqué à des questions reliées à la théorie de la modélisation (les effets de la complexité sur la performance), à l'identification d'indicateurs, aux changements au niveau d'un système et aux mécanismes d'entraînement, à la vulnérabilité d'espèces à des perturbations, ainsi qu'à l'exploration de formes robustes et efficaces de gestion écosystémique. Atlantis est portable entre écosystème, peut être utilisé pour identifier des indicateurs et des points de référence, peut contribuer à l'élaboration et à l'évaluation de règles de pêche, et peut simuler des objectifs de haut niveau d'intervenants divers. Sa capacité d'établir les risques que les objectifs de gestion ne seront pas atteints est considérée comme étant gauche à moyenne.

Avantages, désavantages et limites

Nombre des désavantages d'Atlantis ont trait à sa taille et à sa complexité. Par exemple, les tests de diagnostic sont limités, les analyses de l'incertitude ne sont pas aussi sophistiquées que dans les modèles simples, les modèles sont difficiles et longs à paramétrer, à initialiser et à utiliser, les extrants doivent être distillés avant d'être présentés aux clients, le grand nombre de paramètres et la grande dimensionnalité du modèle font qu'il est difficile de comprendre les causes et il est facile pour le modèle de devenir trop gros et trop complexe. Il possède également des propriétés structurelles compliquées. Par exemple, l'inclusion de l'ouverture maximale de la bouche signifie que des définitions simples des matrices des poids des connexions ne définissent pas pleinement les réseaux trophiques, ce qui rend le modèle moins sensible aux variations dans

not an optimisation (relative to objectives) model, which sometimes makes it an inefficient path to finding optimal solutions to management questions. In contrast to this, some of the advantages of the Atlantis modelling framework are its many features and the ability to be selective and disable features (though they may be difficult to subsequently reactivate within a run without having to go back and redo many steps in the modelling process. Atlantis can explicitly handle socio-economics, space (in all three dimensions), biophysical forcing and the environment. Consideration of socio-economic factors in Atlantis is an asset, but those modules mean that more data and expertise is needed to apply that part of the model. Atlantis incorporates an MSE structure and is very useful for assessing indicators. It can deal with many more types of objectives than most other models, but not absolutely everything. Finally, while Atlantis has a primarily fisheries focus, it can be used to examine other issues such as species at risk, aquatic invasive species, habitat, and aquaculture.

le régime alimentaire des prédateurs que les modèles du bilan massique. C'est aussi un modèle piloté par des processus et non un modèle d'optimisation (par rapport aux objectifs), ce qui en fait parfois un moyen inefficace de trouver des solutions optimales à des questions de gestion. Par contre, ses nombreuses caractéristiques ainsi que sa capacité d'être sélectif et d'en désactiver certaines (bien qu'il puisse être difficile de les remettre en activité dans un passage sans avoir à refaire de nombreuses étapes du processus de modélisation) comptent parmi ses avantages. Atlantis peut explicitement prendre en charge des facteurs socioéconomiques, l'espace (dans ses trois dimensions), le forçage biophysique et l'environnement. La prise en charge de facteurs socioéconomiques est un atout, mais ces modules signifient que plus de données et de compétences sont nécessaires pour appliquer cette partie du modèle. Atlantis incluant une structure d'ESG, il est très utile pour évaluer des indicateurs. Il peut traiter un plus grand nombre de types d'indicateurs que la plupart des autres modèles, mais pas n'importe quoi. En dernier lieu, bien que ce cadre de modélisation soit focalisé principalement sur les pêches, il peut servir à l'analyse d'autres sujets, comme les espèces en péril, les espèces aquatiques envahissantes, l'habitat et l'aquaculture.

Break-Out Group Discussion – What's Missing?

Though the purpose of this meeting was to evaluate specific approaches brought to the table by invited experts, it was important at some point to consider modelling approaches that were not specifically addressed at the meeting but which are likely to be important for development of ecosystem approaches in some contexts. Two breakout group discussions during the meeting addressed some of these missing approaches which, as expected, vary widely and can be difficult to classify.

One common idea in these discussions concerned the use of physical oceanographic and climate models mainly to predict movements of water masses, contaminants and larvae of various species between regions. An example of the latter is the use of oceanographic models to drive transport and habitat quality of early life history stages. These models are becoming more important as hatcheries are increasing density of young fish in ecosystems, and the hatchery outputs are forcing modellers to re-consider how we define and quantify "carrying capacity". The

Discussion en petits groupes – Que manque-t-il?

Bien que l'objet de la réunion soit l'évaluation des approches présentées par les experts invités, il est important de considérer d'autres approches de modélisation qui se révèleront probablement importantes pour le développement d'approches écosystémiques. Certaines de ces approches ont été analysées dans le cadre de deux séances de discussion en petits groupes ; comme on peut s'y attendre, elles varient grandement et peuvent être difficiles à classifier.

L'utilisation de modèles de l'océanographique physique et du climat principalement pour prédire les déplacements des masses d'eau, des contaminants et des larves de diverses espèces est un des points communs de ces discussions. Des modèles océanographiques ont été déjà été utilisés pour simuler le transport et la qualité de l'habitat des premiers stades du cycle vital. Ces modèles prennent de l'importance car les juvéniles produits en écloserie viennent accroître la densité des juvéniles dans les écosystèmes, ce qui force les modélisateurs à repenser la définition et la

need to use physical oceanographic models to examine the potential impacts of climate change on ecosystems was a common theme in all the modelling approaches. In this sense, these physical models were seen as not an end in themselves to an ecosystem approach but as a tool to predict future conditions that could feed into ecological models either dynamically or to determine external forcing conditions.

quantification de la capacité de charge. Un thème commun de toutes les approches de modélisation est le besoin d'utiliser des modèles de l'océanographique physique pour analyser les impacts potentiels du changement climatique sur les écosystèmes. Mais ces modèles ne sont pas considérés comme une fin en soi, mais plutôt comme un outil pour prédire les conditions futures qui pourraient être introduites dans des modèles écologiques soit dynamiquement ou pour déterminer les conditions de forçage externes.

Following from the physical models as forces, more basic foodweb component nutrients, phytoplankton & zooplankton (NPZ) models were identified as an area not accounted for in most of the models examined during the workshop. Thus the theme of propagating the impacts of climate change through nutrients and lower trophic levels was again identified as important by highlighting NPZ models.

Comme les modèles des composantes de base du réseau alimentaire, les modèles de type NPZ (nutriments-phytoplancton-zooplancton), n'ont pas été abordés lors de l'atelier, le thème de la propagation des impacts du changement climatique aux nutriments et aux niveaux trophiques inférieurs est à nouveau reconnu comme soulignant l'importance de ces modèles.

Habitat models linking habitat attributes to species productivity, well-being, volume of suitable habitat etc. can range from complicated to simple classical habitat quality models. Models of essential fish habitat are an important consideration for ecosystem approaches, such as the establishment of marine protected areas. A sub-class of habitat models to consider could be models which quantify the destructive effects of human activities. This could include models of the effects of destructive fishing on habitats and benthic communities which might be considered habitats in themselves for other species. Developers of these classes of models are also trying to address user desires to link habitat and coupled bio-physical models; evaluate cumulative effects; put potential for genetic change into models; and make testable predictions within and across regime shifts.

Les modèles classiques de la qualité de l'habitat établissant un lien entre les caractéristiques d'un habitat et la productivité et le bien-être d'espèces, le nombre de parcelles d'habitat adéquates, etc., vont de simples à compliqués. Il est important de considérer l'utilisation de modèles de l'habitat essentiel du poisson dans les approches écosystémiques, comme la création de zones de protection marines. Les modèles permettant de quantifier les effets destructeurs des activités humaines, comme les effets de la pêche destructrice sur les habitats et les communautés benthiques (qui peuvent être considérées en soi comme des habitats pour d'autres espèces), sont une sous-classe de modèles d'habitat qui pourraient aussi être considérés. Les réalisateurs de ces classes de modèle tentent aussi de répondre aux désirs des utilisateurs de lier des modèles d'habitat à des modèles biophysiques couplés; d'évaluer les effets cumulatifs; d'inclure le potentiel de changements génétiques dans les modèles; et de faire des prédictions vérifiables dans ces changements de régime et entre ces changements.

Biodiversity models would be a class of model to consider and develop. Since the Rio summit, protection of biodiversity has been a central concept of much environmental policy, so there is a clear need to consider ways to model it in ecosystem approaches. Though it is often not clear what biodiversity means in broad policy statements, models of biodiversity should include multispecies models where extirpations and extinctions and invasions are possibilities. As

Les modèles de la biodiversité sont une autre classe de modèles à considérer et à développer. Depuis le Sommet de Rio, une grande place est accordée à la protection de la biodiversité dans les politiques en matière d'environnement. Il faut donc considérer des moyens de la modéliser dans les approches écosystémiques. Bien que la signification de la biodiversité ne soit souvent pas claire dans les énoncés de politique généraux, les modèles de la biodiversité devraient inclure des

such interaction strength between species and potential invasability of community to new species and how interactions are likely to change with various perturbations to the community should be considered in these kinds of models.

modèles plurispécifiques où la disparition d'une espèce d'un endroit donné, l'extinction d'une espèce et les invasions sont des possibilités. À ce titre, ces modèles devraient tenir compte de la force des interactions interspécifiques et de l'invasion potentielle d'une communauté par de nouvelles espèces, ainsi que de la manière dont les interactions varieront probablement à la suite de diverses perturbations de la communauté.

There is clearly a place for qualitative models. Qualitative in this sense could consists of signed digraphs which are + and – interactions in a foodweb context that can lead to assessment of stability. Other sorts of qualitative models could simply be meta-analysis of literature to test various hypotheses and in this sense would be statistical rather than mechanistic models. Qualitative models can also simply consist of a structured interrogation that can lead one to conclusions through answering a hierarchy of well-posed questions. Ideally one embarks upon such a process before detailed modelling yet this is not always the case.

Les modèles qualitatifs ont leur place. Ce peut être des bigrammes avec signe, qui sont des interactions + et – dans le contexte d'un réseau alimentaire pouvant mener à l'évaluation de la stabilité. La méta-analyse de travaux publiés en vue de vérifier diverses hypothèses est une autre sorte de modèles qualitatifs, quoiqu'elle serait un modèle statistique plutôt que mécaniste. Une interrogation structurée permettant à quelqu'un de formuler des conclusions après avoir répondu à une série de questions bien posées est aussi un type de modèle qualitatif. Idéalement, on se lance dans ce processus avant de s'embarquer dans la modélisation détaillée, mais cela n'est pourtant pas toujours le cas.

Socioeconomic models were also highlighted as a key tool for implementing an ecosystem approach. These kinds of models can include how changes in natural communities are likely to affect the socioeconomics of human communities dependent upon them and the feedbacks on each. Further along these lines it was suggested that incorporating models of human demographics and migration could be useful to project human development, energy use and thus perturbation and exploitation of ecosystems that could better enable planning to protect and sustainably exploit resources.

Les modèles socioéconomiques ont toujours été préconisés comme un outil clé pour la mise en œuvre d'une approche écosystémique. Les incidences probables de changements dans des communautés naturelles sur la socio-économie des communautés humaines qui en dépendent et les actions en retour sur chacune peuvent être incluses dans ces modèles. En outre, il serait peut-être utile d'incorporer des modèles de la démographie humaine à des modèles des migrations pour faire des projections sur le développement humain et l'utilisation d'énergie, et donc les perturbations des écosystèmes et l'exploitation de ceux-ci, ce qui permettrait une meilleure planification de sorte à protéger les ressources et à les exploiter de façon durable.

A number of other issues were touched on but not resolved, including

- Do ecosystem models provide shortcuts to implementing an ecosystem approach?
- Are there strategies that can be used to simplify and codify matching tools to problems?
- How to use variance / bias tradeoffs to choose the best tools?
- How to measure ecosystem health?

D'autres questions sont posées, mais aucune réponse ne leur est donnée.

- Est-ce que les modèles d'écosystème simplifient la mise en œuvre d'une approche écosystémique?
- Existe-t-il des stratégies permettant de simplifier et de codifier l'assortiment d'outils à des problèmes?
- Comment utiliser les compromis entre la variance et le biais pour choisir les meilleurs outils?
- Comment se mesure la santé d'un écosystème?

- How to predict the consequences of changes that are unprecedented (e.g. change in ocean pH)?
- How will changes in demographics affect communities and ecosystems?

In all cases it was agreed the models have a central role in exploring these questions, but are unlikely to provide clear answers quickly. However a path to efficient progress on these complex questions would be to create multiple models and apply strong inference methods as a tool to eliminating less correct hypotheses for how these processes might act. However when treating a model as a scientific hypotheses in cases where a model did not fit a family of data, it is often not possible to know if the failure is a consequence of the formulation (hypothesis) being wrong or a result of the simplification necessary to made the model run with the (usually scarce) data that are available. Moreover, it has sometimes been impossible to eliminate hypotheses with our ecosystem models, a situation that suggests that all our models are actually variants within the same modelling framework and we need to think a little further outside the box.

Finally, the need for linkages to the social and economic sciences was noted again. These linkages are needed so it is possible to design ecological models in ways that are easier rather than harder to link with the models and tools that social and economic scientists are using.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

About Ecosystem Models and their Role in Research and Support for Management

1. There is a continuum of models applicable to DFO's needs from Conceptual / Heuristic through Tactical to Strategic. Conceptual/heuristic models improve our broad understanding of the structure and functioning of ecosystems and provide the context in which management decisions are made. They are not used explicitly in management. Strategic models are long-range, broad-based and linked to policy goals, providing advice for strategic management decisions. Tactical models look at the short-term (3-5 years) and are linked to operational objectives. As one moves along

- Comment faire pour prédire les conséquences de changements sans précédent (p. ex changement dans le pH de l'océan) ?
- Quels seront les effets de changements dans la démographie sur les communautés et les écosystèmes?

On convient que tous les modèles jouent un rôle central dans l'étude de ces questions mais qu'il est peu probable qu'ils fournissent rapidement des réponses claires. Pour faire des progrès dans l'étude de ces questions complexes, il faudrait créer des modèles multiples et appliquer des méthodes d'inférence solides comme outil pour éliminer les hypothèses moins correctes sur la manière dont ces processus agissent. Toutefois, lorsqu'on traite un modèle comme une hypothèse scientifique lorsqu'il ne cadre pas avec une famille de données, il est souvent impossible de savoir si cet échec est une conséquence de la formulation de l'hypothèse ou le résultat de la simplification nécessaire pour que le modèle puisse être passé avec les données disponibles (habituellement rares). En outre, il a parfois été impossible d'éliminer des hypothèses avec nos modèles d'écosystème, une situation qui donne à penser qu'ils sont en fait tous des variantes du même cadre de modélisation et que nous devons nous éloigner davantage des sentiers battus.

En dernier lieu, le besoin de faire intervenir les sciences sociales et l'économique est souligné à nouveau. Ces liens sont requis afin d'être en mesure de concevoir des modèles écologiques plus faciles à lier aux modèles et outils que les spécialistes en sciences sociales et les économistes utilisent.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Au sujet des modèles d'écosystème et de leur rôle dans la recherche et en appui de la gestion

1. Un continuum de modèles (conceptuels, heuristiques, tactiques, stratégiques) peuvent être utilisés pour répondre aux besoins du MPO. Les modèles conceptuels/heuristiques permettent de mieux comprendre la structure et le fonctionnement des écosystèmes, et établissent le contexte dans lequel les décisions de gestion sont prises. Ils ne sont pas utilisés explicitement en gestion. Les modèles stratégiques sont de terme long, d'assise large et liés aux buts stratégiques; ils fournissent des avis pour la prise de décisions stratégiques. Les modèles tactiques, de terme court (3 à 5 ans), sont liés aux objectifs

the continuum from tactical to heuristic, ecosystem models become increasingly important.

2. Ecosystem modelling is essential in developing most strategic advice, including Management Strategy Evaluations. Such Strategic advice is crucial to setting management frameworks within which tactical advice should be provided.

3. Developing the scientific support needed to provide strategic advice, including (but not exclusively) ecosystem models, requires a long lead time. This can be several months, and sometimes may require years of work to provide good ecosystem modelling support to address complex questions.

4. It is better practice to apply several modelling approaches of differing complexity to investigate specific questions than to apply any single model to a problem. Which models are most appropriate depends on properties of the questions being asked.

5. Evaluations from this workshop regarding the applicability of specific modelling approaches to classes of ecological and management questions are generally consistent with tabulations from other international meetings which undertook similar tasks (Table 2).

opérationnels. À mesure que l'on progresse dans le continuum, de tactique à heuristique, les modèles d'écosystème prennent plus d'importance.

2. La modélisation d'écosystème est essentielle pour la formulation de la plupart des avis stratégiques, notamment les évaluations de stratégie de gestion. Ces avis sont essentiels pour l'établissement des cadres de gestion dans les limites desquels les avis tactiques devraient être fournis.

3. Il faut beaucoup de temps pour développer le soutien scientifique requis pour fournir des avis stratégiques, y compris (mais non exclusivement) des modèles d'écosystème. Il peut falloir plusieurs mois voire des années de travail pour développer un bon soutien de modélisation d'écosystème afin de répondre à des questions complexes.

4. Pour analyser un problème donné, il est mieux d'appliquer plusieurs approches de modélisation de niveaux de complexité différents qu'un seul modèle. Les modèles les plus appropriés dépendent des propriétés des questions demandées.

5. Les évaluations faites lors de l'atelier portant sur l'applicabilité des diverses approches de modélisation à des classes de questions de gestion et d'ordre écologique correspondent généralement aux résultats de réunions internationales où cela a été fait (tableau 2).

Table 2. Summary of which models can address a range of management questions likely to be encountered in management of Canada's aquatic ecosystems (synthesis of discussions during meetings and adapted from Plaganyi et al. 2007).

Models to Address/Explore:	ESAM	MRM	MSVPA	OSMOSE	Bio-energ	Size-based	Aggreg. Biom.	EwE	Atlantis
TD forcing	√		√	√	√	√		√	√
Environmental forcing				√				√	√
Ecosystem functioning				√	√	√		√	√
Change in Ecosystem State		√			√	√		√	√
Impact of target species		√	√	√	√	√	√	√	√
Effect of by-catch		√	√		√		√	√	√
Technical Interactions	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Fishing on Forage Species	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Marine mammals/fishery	√	√	√	√	√			√	√
Rebuilding depleted stocks		√	√	√				√	√
Effort Allocation/trade-offs			√					√	√
Underexploited Species		√		√				√	√
Spatial Issues/MPAs		?		√				√	√
Habitat Modification								?	√
AIS				√					√
AQ Impacts	?								

ESAM=extended single species models; MRM= minimum realistic models; MSVPA = multispecies virtual population analysis, OSMOSE = Object-oriented Simulator of Marine ecOSystems Exploitation; Bio-energ.= bio-energetic models; size-based = size-based ecosystem models; Aggreg. Biom. = aggregate biomass models; EwE=Ecopath with Ecosim; Atlantis (Fulton, this volume).

Tableau 2. Résumé des modèles pouvant être appliqués à une gamme d'enjeux de gestion susceptibles d'être rencontrés dans le cadre de la gestion des écosystèmes aquatiques du Canada (synthèse des discussions tenues durant l'atelier et adaptées de Plaganyi et al., 2007).

Question à l'étude	ESAM	MRM	MSVPA	OSMOSE	Bio.	Centré	Globale	EwE	Atlantis
Forçage trophodynamique	√		√	√	√	√		√	√
Forçage environnemental				√				√	√
Fonctionnement d'un écosystème				√	√	√		√	√
Changement d'état d'un écosystème		√			√	√		√	√
Impact sur l'espèce ciblée		√	√	√	√	√	√	√	√
Effet des prises accessoires		√	√		√		√	√	√
Interactions techniques	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Pêche d'une espèce-fourrage	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Mammifères marins / pêche	√	√	√	√	√			√	√
Reconstitution de stocks décimés		√	√	√				√	√
Allocation de l'effort / compromis			√					√	√
Espèces sous-exploitées		√		√				√	√
Enjeux spatiaux / ZPM		?		√				√	√
Modification de l'habitat								?	√
EAE				√					√
Impacts de l'aquaculture	?								

ESAM = modèle élargi pour l'évaluation d'une espèce; MRM = modèle réaliste minimaux; MSVPA = analyse des populations virtuelles d'espèces multiples, OSMOSE = Object-oriented Simulator of Marine ecOSystems Exploitation; Bio. = modèle bioénergétique; Centré = modèle d'écosystème centré sur la taille; Globale = modèle de la biomasse globale; EwE=Ecopath-Ecosim; Atlantis (Fulton, ce document).

The Status of Ecosystem Modelling in DFO

6. Ecosystem modelling initiatives in DFO require a coordinating or networking body (referred to hereafter as EcoNet) as a forum for exchange, both electronically and in person to:

- Facilitate coordinated responses to national initiatives as needed by the Department, and strengthen responses at zonal and regional levels;
- Facilitate the exchange of ideas, experiences, and approaches among modellers and their collaborators;

État de la modélisation d'écosystème au MPO

6. Les initiatives de modélisation d'écosystème menées au MPO requièrent un groupe de coordination ou de consultation (ci-après appelé EcoNet) qui agira comme tribune pour les échanges, par voie électronique ou en personne, afin :

- de faciliter la coordination des réponses à des initiatives nationales dont a besoin le MPO et de renforcer les réponses au niveau zonal et régional;
- de faciliter l'échange d'idées, de résultats et d'approches entre les modélisateurs et leurs collaborateurs;

- Take full advantage of complementary expertise to address questions of common or national concern;
- Ensure the ability to respond rapidly to emerging funding opportunities and to advise Sectoral and Departmental management of requirements for ecosystem modelling support;
- Avoid fragmentation of initiatives along regional or disciplinary lines
- Provide an intellectual sounding board and support for colleagues, to stimulate creativity, attack roadblocks, etc.;
- Present results of coordinated modelling initiatives to sectoral leaders and clients, to raise the profile of such work and ensure its application ;
- Provide potential collaborators, both within DFO and externally, an efficient way to link with the ecosystem modelling community in DFO Science;
- Advise on priorities for modelling needs and capacity building.

7. "EcoNet" should continue to function as a recognized resource to coordinate ecosystem modelling expertise in the Department and Sector. It should establish modes of operation that:

- Minimize the administrative burden on members;
- Function in a collective rather than hierarchical manner;
- Have some modest resources to facilitate networking and coordination;
- Take advantage of other meetings, such as the National Science Workshops, as opportunities for face-to-face meetings.

8. Notwithstanding the value of opportunistic meetings, the extended "EcoNet" should meet on a regular basis to:

- Update participants on new developments in the field of ecological modelling;
- Exchange and evaluate results from co-ordinated ecosystem modelling projects, noting lessons learned about modelling and the functioning of the network;
- Consider themes of interest to modellers and/or the Department, and develop plans for coordinated approaches to specific issues;

- de tirer pleinement parti des compétences de collègues pour répondre à des questions d'intérêt commun ou national;
- d'avoir la capacité de réagir rapidement aux opportunités de financement nouvelles et d'informer les gestionnaires sectoriels et ministériels des besoins de soutien de la modélisation d'écosystème;
- d'éviter la fragmentation des initiatives par discipline ou région;
- de fournir une rétroaction intellectuelle et un appui aux collègues afin de stimuler leur créativité, de surmonter les obstacles, etc.;
- de présenter les résultats des initiatives de modélisation concertées aux chefs sectoriels et aux clients afin de rehausser le profil de ce genre de travaux et d'assurer qu'ils sont appliqués;
- de fournir aux collaborateurs potentiels, tant au MPO que d'ailleurs, un moyen efficace de rejoindre la communauté des modélisateurs d'écosystème à Sciences – MPO;
- fournir des avis sur les priorités au titre des besoins relatifs à la modélisation et au renforcement des capacités.

7. EcoNet devrait continuer à fonctionner comme une ressource reconnue afin qu'il puisse coordonner les experts en modélisation d'écosystème au Ministère et dans le secteur. Il devrait établir des règles de fonctionnement de sorte qui lui permettent :

- de minimiser le fardeau administratif placé sur les membres;
- de fonctionner comme un ensemble plutôt qu'une hiérarchie ;
- de disposer de ressources modestes pour faciliter le réseautage et la coordination;
- de tirer parti d'autres réunions, comme les ateliers nationaux de Sciences, pour tenir des réunions en vis-à-vis.

8. Indépendamment de la valeur des réunions opportunistes, la communauté étendue d'EcoNet devrait se réunir régulièrement pour :

- se tenir au courant des récents progrès dans le domaine de la modélisation écologique;
- échanger et évaluer les résultats de projets concertés de modélisation d'écosystème, et discuter des leçons tirées sur la modélisation et le fonctionnement du réseau;
- étudier des thèmes d'intérêt pour les modélisateurs et/ou le Ministère, et faire des plans pour des approches concertées à des problèmes particuliers;

- Build familiarity with selected aspects of ecosystem modelling in a coordinated and focused way, (e.g., workshops on modelling lower trophic level dynamics, physical forcing, etc.).

9. At present there is insufficient capacity for ecosystem modelling in the Science Sector. It is not possible at present to address fully, or in some cases even minimally, existing needs for the provision of science advice in support of DFO's mandate with regard to some species at risk and habitat issues, and these needs are expected to increase. Capacity would be insufficient to support Management Strategy Evaluations for fisheries, were MSEs to become an important aspect of fisheries management strategic planning.

10. Both modelling capacity and the associated capacity to fulfill model data requirements need to be enhanced. Modelling work can be done within current conditions, and within the developing ERIs. Nevertheless improving these capabilities, such as a greater focus on benthic modelling, a noted deficit during the meeting, must become a medium term goal for the Department, or the gap between capability and advisory requirements will widen, and may become critical in some areas. "EcoNet" needs to play a role in departmental initiatives on planning and conducting monitoring programmes, so those programmes can address the critical data gaps that exist for ecosystem modelling.

11. Many uses of ecosystem models within DFO, such as Management Strategy Evaluations, require considering, and in some cases modelling, human activities. DFO currently has very limited capacity to undertake socio-economic modelling, or to integrate new or existing socio-economic models with our efforts in ecosystem modelling. It is unrealistic to expect DFO to build this capacity in-house, but DFO should attach priority to making formal links between the community of ecosystem modellers and social and economic experts with the necessary knowledge and analytical

- la familiariser avec des aspects choisis de la modélisation d'écosystème d'une manière coordonnée et ciblée (p. ex. ateliers sur la modélisation de la dynamique des niveaux trophiques inférieurs, forçage physique, etc.);

9. À l'heure actuelle, le secteur des Sciences ne possède pas une capacité suffisante de modélisation d'écosystème. Il lui est donc impossible de répondre pleinement, et dans certains cas même médiocrement, aux besoins existants pour la prestation d'avis scientifiques en appui du mandat du MPO en ce qui touche certaines espèces en péril et des questions d'habitat, et on s'attend à ce que ces besoins augmentent. Sa capacité serait insuffisante pour étayer les évaluations de stratégies de gestion des pêches si celles-ci devenaient un aspect important de la planification stratégique de la gestion des pêches.

10. La capacité de modélisation et la capacité connexe de satisfaire aux exigences des modèles en matière de données doivent être accrues. Des travaux de modélisation peuvent être menés dans les conditions actuelles et dans le contexte des initiatives sur les écosystèmes en cours. Cependant, le Ministère doit faire de la bonification de ces capacités, comme la mise d'un accent plus grand sur la modélisation benthique (une faiblesse signalée durant la réunion), un but à moyen terme ou l'écart entre la capacité et les besoins en matière d'avis s'élargira et pourrait devenir critique dans certains cas. EcoNet doit jouer un rôle dans les initiatives ministérielles relatives à la planification et à l'exécution de programmes de surveillance, de sorte que ceux-ci puissent combler les lacunes existantes dans les données essentielles pour la modélisation d'écosystème.

11. De nombreuses applications de modèles d'écosystème au sein du MPO, comme les évaluations de stratégie de gestion, doivent considérer et, dans certains cas, modéliser les activités humaines. À l'heure actuelle, la capacité du MPO de faire de la modélisation socio-économique et d'intégrer des modèles socio-économiques nouveaux ou existants à nos travaux de modélisation d'écosystème est limitée. Il n'est pas réaliste de s'attendre à ce que le MPO établisse cette capacité à l'interne, mais il devrait donner la priorité à l'établissement de liens officiels entre la communauté de modélisateurs d'écosystème

expertise.

Short Term Actions

12. When the FAO report on "best practices" in ecosystem modelling is released, "EcoNet" (working with CSAS) will coordinate an evaluation of the report for relevance to DFO practices. If appropriate, the review should recommend to NSDC whether these become guidelines for practice within DFO.

13. The EcoNet Steering Committee should explore options for rapid and effective information distribution to network members and collaborators (e.g., WIKI site, dedicated page of DFO site), and implement a preferred option as quickly as possible.

14. The workshop participants concluded that under current conditions the most effective approach to move forward with ecosystem modelling within DFO Science is to coordinate work on specific themes of relevance to modelling and management. Three themes were identified; all where it is expected that ecosystem modellers will be required by their Regional managers to be working anyway. These themes are:

- Investigate the role of marine mammals as top-down predators. This is a priority to address both concerns about seal-fishery interactions in the Atlantic and recovery strategies for marine mammals in several Regions, including Pacific and Central and Arctic

- Develop the ecological basis for site selection for the network of MPAs. This is a priority to address requirements to complete identification of network components with special OAP/HaPAE funding from Treasury Board to DFO.

- Explore the possible effects of climate forcing on aquatic food webs, including lower and upper trophic level relationships and dynamics. Initial focus for modelling would be effects due to changes in primary productivity and effects due to changes in species' vital rates, such as growth or metabolism.

et des économistes possédant les connaissances et les compétences d'analyse nécessaires.

Mesures à court terme

12. Lorsque le rapport de la FAO sur les meilleures pratiques pour la modélisation d'écosystème sera diffusé, EcoNet et le SCES en coordonneront une évaluation visant à établir sa pertinence pour les pratiques du MPO. S'il y a lieu, recommander au CNDS que ces directives soient appliquées au MPO.

13. Le comité directeur d'EcoNet devrait étudier des options pour la diffusion rapide et efficace de l'information aux membres du réseau et aux collaborateurs (p. ex. site WIKI, page réservée du site du MPO) et appliquer l'option retenue aussi rapidement que possible.

14. Les participants à l'atelier concluent que, dans les conditions actuelles, la coordination des travaux menés sur des thèmes donnés, pertinents à la modélisations et à la gestion, est l'approche la plus efficace pour aller de l'avant dans la modélisation d'écosystème. Ils dégagent trois thèmes que, selon eux, les gestionnaires régionaux demanderont aux modélisateurs d'écosystème d'analyser. Ces thèmes prioritaires sont les suivants :

- Rôle des mammifères marins à titre de prédateurs des niveaux trophiques inférieurs. Ce thème vise à répondre aux préoccupations au titre des interactions entre les phoques et leurs proies dans l'Atlantique et les stratégies de rétablissement pour les mammifères marins dans plusieurs régions (Pacifique et Centre & Arctique).
- Assise écologique pour le choix des sites à ajouter au réseau de ZPM. Cet élément prioritaire vise à satisfaire à l'exigence de compléter l'identification des sites du réseau. À cette fin, le Conseil du Trésor a accordé au MPO un financement spécial au titre du résultat stratégique EASP du PAO.
- Effets possibles du forçage climatique sur les réseaux alimentaires aquatiques, y compris les relations entre les niveaux trophiques inférieurs et supérieurs et leur dynamique. L'accent devrait être mis au départ sur les effets dus aux changements dans la productivité primaire et les effets dus aux changements dans les indices vitaux des espèces, comme le taux de croissance ou la vitesse de métablolisme.

The first area of focused and coordinated modelling should be the marine mammal work, because there is already an urgent timetable for delivery of science products within 2008.

15. The value-added of the network for each activity in 14 is to build the capacity to model the class of questions efficiently, rather than building case-specific models to be used for a single problem and then dropped. In addition to capacity-building, coordinating modelling efforts across regions on specific problems enhances the likelihood that multiple models can be developed and tested for specific problems, and great progress made on any aspect of the overall problem.

BIBLIOGRAPHY AND REFERENCES

Andersen, K., and E. Ursin. 1977. A multispecies extension to the Beverton and Holt theory of fishing, with accounts of phosphorus circulation and primary production. Meddelelser fra Danmarks Fiskeriog Havundersøgelser, 7: 319–435.

Andersen, K.H., and J.E. Beyer. 2006. Asymptotic size determines species abundance in the marine size spectrum. American Naturalist, 168: 54-61.

Benoit, E., and M.J. Rochet. 2004. A continuous model of biomass size spectra governed by predation and the effects of fishing on them. J. Theo. Biol., 226: 9-21.

Butterworth, D.S., and A.E. Punt. 2003. The role of harvest control laws, risk and uncertainty and the precautionary approach in ecosystem-based management; pp. 311-319. *In*: Sinclair, M. and Valdimarsson, G. [Eds.] Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem. CAB International: Wallingford.

Butterworth, D.S., and J. Harwood (Eds). 1991. Report of the Benguela Ecology Programme Workshop on seal-fishery biological interactions. Rep. Benguela Ecol. Progrm. S. Afr. 22.

Christensen, V., and C.J. Walters. 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. Ecol. Model., 172: 109–139.

La priorité de modélisation ciblée et coordonnée devrait être accordée au thème des mammifères marins, car des produits scientifiques sont déjà instamment requis pour 2008.

15. La valeur qu'ajoute au réseau chaque activité indiquée au point 14 vise à renforcer la capacité de modéliser la classe de questions efficacement plutôt que de bâtir des modèles qui serviront à résoudre un seul problème avant d'être mis de côté. En plus de renforcer les capacités, la coordination entre régions des travaux de modélisation d'un problème donné accroît la probabilité que des modèles multiples seront développés et essayés et que de grands progrès seront réalisés au titre de divers aspects du problème.

BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES

Andersen, K., and E. Ursin. 1977. A multispecies extension to the Beverton and Holt theory of fishing, with accounts of phosphorus circulation and primary production. Meddelelser fra Danmarks Fiskeriog Havundersøgelser, 7: 319–435.

Andersen, K.H., and J.E. Beyer. 2006. Asymptotic size determines species abundance in the marine size spectrum. American Naturalist, 168: 54-61.

Benoit, E., and M.J. Rochet. 2004. A continuous model of biomass size spectra governed by predation and the effects of fishing on them. J. Theo. Biol., 226: 9-21.

Butterworth, D.S., and A.E. Punt. 2003. The role of harvest control laws, risk and uncertainty and the precautionary approach in ecosystem-based management; pp. 311-319. *In*: Sinclair, M. and Valdimarsson, G. [Eds.] Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem. CAB International: Wallingford.

Butterworth, D.S., and J. Harwood (Eds). 1991. Report of the Benguela Ecology Programme Workshop on seal-fishery biological interactions. Rep. Benguela Ecol. Progrm. S. Afr. 22.

Christensen, V., and C.J. Walters. 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. Ecol. Model., 172: 109–139.

Fulton, E.A., A.D.M. Smith, and A.E. Punt. 2004. Ecological indicators of the ecosystem effects of fishing. Final Report. Report No. R99/1546, Australian Fisheries Management Authority, Canberra.

Gislason, H., and T. Helgason. 1985. Species interaction in assessment of fish stocks with special application to the North Sea. Dana, 5: 1–44.

Gislason, H. 1999. Single and multispecies reference points for Baltic fish stocks ICES Journal of Marine Science, 56: 571-583.

Hall, S.J., J.S. Collie, D.E. Duplisea, S. Jennings, M. Bravington, and J. Link. 2006. A length-based multispecies model for evaluating community responses to fishing. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63: 1344-1359.

Jurado-Molina, J., P.A. Livingston, and J.N. Ianelli. 2005. Incorporating predation interactions in a statistical catch-at-age model for a predator–prey system in the eastern Bering Sea. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 62: 1865–1873.

Kinzey, D., and A.E. Punt. Submitted. Multispecies and single-species models of fish population dynamics: Comparing parameter estimates. Nat. Res. Model.

Lewy, P., and M. Vinther. 2004. A stochastic age-length-structured multispecies model applied to North Sea stocks. ICES CM 2004/FF:20.

Livingston, P.A. and J. Jurado-Molina. 2000. A multispecies virtual population analysis of the eastern Bering Sea. ICES Journal of Marine Science, 57:294-299.

Magnusson, K. 1995. An overview of the multispecies VPA — theory and applications. Rev. Fish Biol. Fish. 5: 195–212.

Maury O., Y-J. Shin, B. Faugeras, T. Ben Ari, and F. Marsac. 2007. Modelling environmental effects on the size-structured energy flow through marine ecosystems. Part 2: Simulations. Prog. Oceanography 74: 500-514.

Fulton, E.A., A.D.M. Smith and A.E. Punt. 2004. Ecological indicators of the ecosystem effects of fishing. Final Report. Report No. R99/1546, Australian Fisheries Management Authority, Canberra.

Gislason, H., and T. Helgason. 1985. Species interaction in assessment of fish stocks with special application to the North Sea. Dana, 5: 1–44.

Gislason, H. 1999. Single and multispecies reference points for Baltic fish stocks ICES Journal of Marine Science, 56: 571-583.

Hall, S.J., J.S. Collie, D.E. Duplisea, S. Jennings, M. Bravington and J. Link. 2006. A length-based multispecies model for evaluating community responses to fishing. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63: 1344-1359.

Jurado-Molina, J., P.A. Livingston and J.N. Ianelli. 2005. Incorporating predation interactions in a statistical catch-at-age model for a predator–prey system in the eastern Bering Sea. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 62: 1865–1873.

Kinzey, D., and A.E. Punt. Submitted. Multispecies and single-species models of fish population dynamics: Comparing parameter estimates. Nat. Res. Model.

Lewy, P., and M. Vinther. 2004. A stochastic age-length-structured multispecies model applied to North Sea stocks. ICES CM 2004/FF:20.

Livingston, P.A., and J. Jurado-Molina. 2000. A multispecies virtual population analysis of the eastern Bering Sea. ICES Journal of Marine Science, 57:294-299.

Magnusson, K. 1995. An overview of the multispecies VPA — theory and applications. Rev. Fish Biol. Fish., 5: 195–212.

Maury O., Y-J. Shin, B. Faugeras, T. Ben Ari and F. Marsac. 2007. Modelling environmental effects on the size-structured energy flow through marine ecosystems. Part 2: Simulations. Prog. Oceanography, 74: 500-514.

Plaganyi, É.E. 2007. Models for an ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No. 477. Rome, FAO. 2007. 108p. http://www.fao.org/docrep/010/a1149e/a1149e00.htm.

Pope J.G., J.C. Rice, N. Daan, S. Jennings, and H. Gislason. 2006. Modelling an exploited marine fish community with 15 parameters -- results from a simple size-based model. ICES J. Marine Sci. 63:1029-1044.

Pope, J.G. 1991. The ICES Multispecies Assessment Working Group: evolution, insights, and future problems. ICES Marine Science Symposia, 193: 22–33.

Punt, A.E., and D.S. Butterworth. 1995. The effects of future consumption by the Cape fur seal on catches and catch rates of the Cape hakes. 4. Modelling the biological interaction between Cape fur seals *Arctocephalus pusillus pusillus* and Cape hakes *Merluccius capensis* and *M. paradoxus*. S. Afr. J. Mar. Sci. 16: 255-285.

Rice, J.C., N. Daan, J.G. Pope, and H. Gislason. 1991. The stability of estimates of suitability coefficients in MSVPA over four years of data from predator stomachs. ICES Marine Science Symposium, 193: 34 -45.

Rindorf, A., H. Gislason, and P. Lewy. 2006. Prey switching of cod and whiting in the North Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 325: 243-253.

Schnute, J.T., and R. Haigh. 2006. Reference points and management strategies: lessons from quantum mechanics. ICES Journal of Marine Science, 63: 4–11. (Available at http://icesjms.oxfordjournals.org/content/vol63/issue1/index.dtl)

Schnute, J.T., M.N. Maunder, and J.N. Ianelli. 2007. Designing tools to evaluate fishery management strategies: can the scientific community deliver? ICES Journal of Marine Science, 64: 1077–1084. (Available at http://icesjms.oxfordjournals.org/content/vol64/issue6/index.dtl)

Shin Y.-J., and P. Cury. 2001. Exploring fish community dynamics through size-dependent trophic interactions using a spatialized individual-based model. Aquatic

Plaganyi, É.E. 2007. Models for an ecosystem approach to fisheries. FAO Fisheries Technical Paper. No. 477. Rome, FAO. 2007. 108 p. http://www.fao.org/docrep/010/a1149e/a1149e00.htm.

Pope J.G., J.C. Rice, N. Daan, S. Jennings and H. Gislason. 2006. Modelling an exploited marine fish community with 15 parameters -- results from a simple size-based model. ICES J. Marine Sci., 63:1029-1044.

Pope, J.G. 1991. The ICES Multispecies Assessment Working Group: evolution, insights, and future problems. ICES Marine Science Symposia, 193: 22–33.

Punt, A.E., and D.S. Butterworth. 1995. The effects of future consumption by the Cape fur seal on catches and catch rates of the Cape hakes. 4. Modelling the biological interaction between Cape fur seals *Arctocephalus pusillus pusillus* and Cape hakes *Merluccius capensis* and *M. paradoxus*. S. Afr. J. Mar. Sci., 16: 255-285.

Rice, J.C., N. Daan, J.G. Pope and H. Gislason. 1991. The stability of estimates of suitability coefficients in MSVPA over four years of data from predator stomachs. ICES Marine Science Symposium, 193: 34 -45.

Rindorf, A., H. Gislason and P. Lewy. 2006. Prey switching of cod and whiting in the North Sea. Mar. Ecol. Prog. Ser. 325: 243-253.

Schnute, J.T., and R. Haigh. 2006. Reference points and management strategies: lessons from quantum mechanics. ICES Journal of Marine Science, 63: 4–11. (Disponible à http://icesjms.oxfordjournals.org/content/vol63/issue1/index.dtl)

Schnute, J.T., M.N. Maunder and J.N. Ianelli. 2007. Designing tools to evaluate fishery management strategies: can the scientific community deliver? ICES Journal of Marine Science, 64: 1077–1084. (Disponible à http://icesjms.oxfordjournals.org/content/vol64/issue6/index.dtl)

Shin Y.-J., and P. Cury. 2001. Exploring fish community dynamics through size-dependent trophic interactions using a spatialized individual-based model. Aquatic Living

Living Resources, 14(2): 65-80.

Shin Y.-J., and P. Cury. 2004. Using an individual-based model of fish assemblages to study the response of size spectra to changes in fishing. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 61: 414-431.

Shin, Y.-J., L.J. Shannon, and P.M. Cury. 2004. Simulations of fishing effects on the southern Benguela fish community using an individual-based model: learning from a comparison with ECOSIM, 95-114pp. *In*: Ecosystem Approaches to Fisheries in the Southern Benguela. Shannon, L.J., Cochrane, K.L. and S.C. Pillar (Eds). African Journal of Marine Science 26.

Stefansson, G. 2003. Issues in multispecies models. Nat. Res. Model. 16: 415–437.

Travers M., Y.-J. Shin, L.J. Shannon, and P. Cury. 2006. Simulating and testing the sensitivity of ecosystem-based indicators to fishing in the southern Benguela ecosystem. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 63: 943-956.

Tsou, T.S., and J.S. Collie. 2001. Estimating predation in the Georges Bank fish community. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58: 908–922.

Resources, 14(2): 65-80.

Shin Y.-J., and P. Cury. 2004. Using an individual-based model of fish assemblages to study the response of size spectra to changes in fishing. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 61: 414-431.

Shin, Y.-J., L.J. Shannon and P.M. Cury. 2004. Simulations of fishing effects on the southern Benguela fish community using an individual-based model: learning from a comparison with ECOSIM, 95-114pp. *In*: Ecosystem Approaches to Fisheries in the Southern Benguela. Shannon, L.J., Cochrane, K.L. and S.C. Pillar (Eds). African Journal of Marine Science, 26.

Stefansson, G. 2003. Issues in multispecies models. Nat. Res. Model. 16: 415–437.

Travers M., Y.-J. Shin, L.J. Shannon and P. Cury. 2006. Simulating and testing the sensitivity of ecosystem-based indicators to fishing in the southern Benguela ecosystem. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 63: 943-956.

Tsou, T.S., and J.S. Collie. 2001. Estimating predation in the Georges Bank fish community. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 58: 908–922.

ANNEX 1 – TERMS OF REFERENCE / ANNEXE 1 – REMIT

Canada has made commitments to approach the management of its natural ecosystems and human activities in a manner respectful of the integrity and viability of its ecosystems. Such an approach requires knowledge about the variety of ecosystems and their structure and function particularly their sensitivity to human activities. In response to these commitments DFO Science has initiated and engaged in research and monitoring to inform this process. While progress is being made in Canada, other countries are also progressing towards an ecosystem approach to management (EAM). Much can be learned from the successes and challenges others have experienced. It is now timely for DFO to evaluate the relative merits of these initiatives to determine if they have utility to departmental needs. These approaches can most effectively be communicated through direct interaction owing to their complexity and rapid evolution. To this end, DFO is holding a workshop to evaluate different ecosystem modelling approaches and to explore how to begin implementing these methods in the Canadian and DFO context. In particular, models will be evaluated, within the context of Management Strategy Evaluation (MSE), and for their ability to assist with the implementation of an ecosystem approach to management within five areas of departmental activity: fisheries management, oceans management, habitat management, aquaculture management and species at risk.

Objectives of the Workshop:

Review and evaluate alternative ecosystem modelling approaches for EAM in Canada. Inform a wider group of DFO scientists on the range ecosystem modelling approaches being used nationally and internationally.

Provide recommendations on modelling tools to further operationalise ecosystem approaches to management in Canada.

Delineate an Action Plan to develop modelling in support of EAM needs in DFO based on the workshop recommendations.

Le Canada s'est engagé à gérer ses écosystèmes naturels et les activités qui y sont menées en respectant l'intégrité et la viabilité de ses écosystèmes. Une telle approche nécessite des connaissances sur la diversité des écosystèmes, ainsi que sur leur structure et leur fonctionnement, notamment sur leur sensibilité aux activités humaines. Conformément à cet engagement, le secteur des Sciences du MPO a lancé des activités de recherche et de surveillance en vue d'orienter le processus. Le Canada, comme d'autres pays, fait des progrès au chapitre de l'approche de gestion écosystémique. On peut tirer bien des leçons des défis et des réussites des autres. Le moment est venu pour le MPO d'évaluer les mérites relatifs des différentes approches, pour savoir si elles permettraient de répondre aux besoins du Ministère. En raison de la complexité et de l'évolution rapide de ces approches, il est plus efficace de les diffuser directement. À cet effet, le MPO organise un atelier visant à évaluer différentes approches de modélisation écosystémique, et à étudier la façon de mettre en oeuvre ces méthodes au Canada et au MPO. On s'attachera particulièrement à évaluer les modèles dans l'optique de l'évaluation de la stratégie de gestion (ESG), et à étudier leur utilité pour la mise en oeuvre d'une approche de gestion écosystémique dans cinq secteurs d'activités du Ministère, à savoir, la gestion des pêches, la gestion des océans, la gestion de l'habitat, la gestion de l'aquaculture et les espèces en péril.

Objectifs de l'atelier

Examiner et évaluer d'autres approches de modélisation écosystémique pour la gestion écosystémique au Canada. Informer davantage de scientifiques du MPO sur l'ensemble des approches de modélisation écosystémique utilisées à l'échelle nationale et à l'échelle internationale

Faire des recommandations sur les outils de modélisation afin de faciliter l'application des approches de gestion écosystémique au Canada

Dresser les grandes lignes d'un plan d'action pour renforcer la modélisation et répondre aux besoins du MPO en matière d'approche de gestion écosystémique, en fonction des recommandations de l'atelier

Produce a DFO Proceedings Report, to be delivered to NSDC by March 31, 2008.

The workshop will be attended by ~35 DFO Scientists, ~4 Managers and 8 international expert in ecosystem modelling.

Produire un compte rendu du MPO qui sera présenté au CNDS au plus tard le 31 mars 2008.

Environ 35 scientifiques du MPO, 4 gestionnaires et 8 spécialistes étrangers de la modélisation écosystémique participeront à l'atelier.

ANNEX 2 - AGENDA / ANNEXE 2 – ORDRE DU JOUR

National Workshop on Modelling Tools for Ecosystem Approaches to Management

Date: 22-25 October 2007

Location: Harbour Towers Hotel & Suites Victoria, B.C. Canada

AGENDA

Monday, 22 October 2007

8:30–8:45	Welcome, Objectives of the Meeting, Introductions *Laura Richards (Science Director, Pacific Region) and Alida Bundy (DFO)*
8:45–9:30	MSE, Ecosystem Modeling and the Scene in Canada *Jake Rice (DFO)*
9:30–10:30	MSE – theory and application *Jon Schnute (DFO)*
10:30–11:00	***Health Break***
11:00–12:00	Overview and Discussion of Recent Ecosystem Modelling Workshops: FAO Ecosystem Modelling Best Practises Workshop *Beth Fulton (CSIRO)* NMFS National Ecosystem Modelling Workshop (NEMoW *Jason Link (NMFS)*
12:00–1:00	***Lunch***
1:00–2:00	Extended Single-species Assessment Models *Alan Sinclair (DFO) and Robert Mohn (DFO)*
2:00–3:00	Multispecies models, minimum realistic *André Punt (U. Washington)*
3:00–3:30	***Health Break***
3:30–4:30	MSVPA *Henrik Gislason (U. Copenhagen)*
4:30–5:30	Group Discussion to evaluate models presented (*using score card*)

Tuesday, 23 October 2007

8:30–9:00	Presentation of results from breakout groups
9:00–10:00	IBM - OSMOSE

Atelier national sur les outils de modélisation pour les approches de gestion écosystémiques

Date : du 22 au 25 octobre 2007

Endroit : Harbour Towers Hotel & Suites Victoria (C.-B.) Canada

ORDRE DU JOUR

Le lundi 22 octobre 2007

8h30–8h45	Mot de bienvenue, objectifs de la réunion, présentations *Laura Richards (directrice, Sciences, Région du Pacifique) et Alida Bundy (MPO)*
8h45–9h30	ESG, modélisation d'écosystème et ce qui se passe au Canada *Jake Rice (MPO)*
9h30–10h30	ESG – théorie et application *Jon Schnute (MPO)*
10h30–11h	***Pause-santé***
11h–12h	Survol et discussion de récents ateliers de modélisation d'éco-système : Atelier de la FAO sur les meilleures pratiques de modélisation d'écosystème *Beth Fulton (CSIRO)* Atelier national du NMFS sur la modélisation d'écosystème (NEMoW) *Jason Link (NMFS)*
12h–13h	***Déjeuner***
13h–14h	Modèles élargis d'évaluation d'une espèce *Alan Sinclair (MPO) et Robert Mohn (MPO)*
14h–15h	Modèles d'espèces multiples, modèles réalistes minimaux *André Punt (U. Washington)*
15h–15h30	***Pause-santé***
15h30–16h30	MSVPA *Henrik Gislason (U. Copenhagen)*
16h30–17h30	Discussion en groupes pour évaluer les modèles présentés (*à l'aide de cartes de pointage)*

Le mardi 23 octobre 2007

8h30–9h	Présentation des résultats des petits groupes
9h–10h	IBM - OSMOSE

	Yunne Shin (IFREMER)		*Yunne Shin (IFREMER)*
10:00–10:30	***Health Break***	***10h–10h30***	***Pause-santé***
10:30–12:00	Bio-energetic approaches *Dave Vasseur (U. Calgary)*	10h30–12h	Approches bioénergétiques *Dave Vasseur (U. Calgary)*
12:00–1:00	***Lunch***	***12h–13h***	***Déjeuner***
1:00–2:15	Size-based Models *Ken Haste Andersen (U. Copenhagen)*	13h–14h15	Modèles centrés sur la tailles *Ken Haste Andersen (U. Copenhagen)*
2:15–3:30	Aggregate Biomass Models *Jason Link (NMFS)*	14h15–15h30	Modèles de biomasse globale *Jason Link (NMFS)*
3:30–4:00	***Health Break***	***15h30–16h***	***Pause-santé***
4:00–5:00	Group Discussion to evaluate models presented (*using score card*)	16h–17h	Discussion en groupes pour évaluer les modèles présentés (*à l'aide de cartes de pointage)*
5:00–5:30	Presentation of results from breakout groups	17h-17h30	Présentation des résultats des petits groupes
	Wednesday, 24 October 2997		**Le mercredi 24 octobre 2007**
8:30–10:00	Ecosystem Models – Ecopath with Ecosim *Villy Christensen (UBC)*	8h30–10h	Modèles d'écosystème – Ecopath et Ecosim *Villy Christensen (UBC)*
10:00–10:30	***Health Break***	***10h–10h30***	***Pause-santé***
10:30–12:15	Ecosystem Models – Atlantis *Beth Fulton (CSIRO)*	10h30–12h15	Modèles d'écosystème – Atlantis *Beth Fulton (CSIRO)*
12:15–1:15	***Lunch***	***12h15–13h15***	***Déjeuner***
1:15–2:15	Group Discussion to evaluate models presented (*using score card*)	13h15–14h15	Discussion en groupes pour évaluer les modèles présentés (*à l'aide de cartes de pointage*
2:15–3:30	Plenary: Breakout Groups to produce and present syntheses of model evaluations	14h15–15h30	Plénière : Préparation et présentation des synthèses des évaluations des modèles par les petits groupes
3:30–4:00	***Health Break***	***15h30–16h***	***Pause-santé***
4:00–5:00	What's missing? Breakout groups to discuss modeling approaches that we have not discussed but should consider	16h–17h	Que manque-t-il? Discussion en petits groupes des approches de modélisation qui n'ont pas été abordées mais qui devraient être considérées
5:00-5:30	Plenary: Breakout Groups to report back on modeling approaches that we have not explicitly considered here	17h-17h30	Plénière : Rapport des petits groupes sur les approches de modélisation qui n'ont pas été explicitement considérées
	Thursday, 25 October 2997		**Le jeudi 25 octobre 2007**
9:00–12:00	Next Steps and formation of working plan of action	9h–12h	Prochaines étapes et formulation d'un plan d'action

Includes discussion of the following:

- "Straw dog" synthesis of modelling approaches
- How will the common vision support advisory needs of fisheries, of oceans, and of SARA?
- Build the Action Plan of next steps

Inclut la discussion des éléments suivants :

- première synthèse des approches de modélisation
- comment la vision commune appuiera-t-elle les besoins d'avis au titre des pêches, des océans et de la LEP?
- élaboration du plan d'action pour ls prochaines étapes

End of Meeting

Fin de la réunion

1:00–4:00	Report Writing (team to consist of steering committee plus volunteer participants)	13h–16h	Rédaction du rapport (équipe composée du comité directeur et de volontaires)

ANNEX 3 – LIST OF PARTICIPANTS / ANNEXE 3 - LISTE DES PARTICIPANTS

Participants – DFO National Workshop on Modelling Tools for Ecosystem Approaches to Management

Participants – Atelier national du MPO sur les outils de modélisation pour les approches de gestion écosystémiques

Name / Nom	Affiliation / Affiliation	Email / Adresse électronique
Ken Haste Andersen	Tech.U. of Denmark	Kha@dfu.min.dk
Villy Christensen	UBC, Canada	v.christensen@fisheries.ubc.ca
Beth Fulton	CSIRO, Australia / Australie	Beth.Fulton@csiro.au
Henrik Gislason	Tech.U. of Denmark	hg@difres.dk
Jason Link	NMFS, USA / États-Unis	jlink@whsun1.wh.whoi.edu
Yunne Shin	IRD, France	shin@ird.fr
Dave Vasseur	U Calgary	dvasseur@ucalgary.ca
André Punt	U Washington	aepunt@u.washington.edu
Marten Koops	C&A	koopsm@dfo-mpo.gc.ca
Agnes Richards	C&A	richardsa@dfo-mpo.gc.ca
Pierre Richard	C&A	richardp@dfo-mpo.gc.ca
Ross Tallmann	C&A	tallmanr@dfo-mpo.gc.ca
Joel Chassé	Gulf / Golfe	chassej@dfo-mpo.gc.ca
Ghislain Chouinard	Gulf / Golfe	chouinardg@dfo-mpo.gc.ca
Janet Smith	Gulf / Golfe	smithjf@dfo-mpo.gc.ca
Doug Swain	Gulf / Golfe	swaind@dfo-mpo.gc.ca
Chris Annand	Maritimes	annandc@mar.dfo-mpo.gc.ca
Bob Mohn	Maritimes	mohnr@mar.dfo-mpo.gc.ca
Alain Vezina	Maritimes	vezinaa@mar.dfo-mpo.gc.ca
Stephen Smith	Maritimes	smithsj@mar.dfo-mpo.gc.ca
Kurtis Trzcinski	Maritimes	trzcinskik@mar.dfo-mpo.gc.ca
Dave Brickman	Maritimes	brickmand@mar.dfo-mpo.gc.ca
Jae Choi	Maritimes	choij@mar.dfo-mpo.gc.ca
Alida Bundy	Maritimes	bundya@mar.dfo-mpo.gc.ca
Peter Shelton	Nfld / Terre-Neuve	sheltonp@dfo-mpo.gc.ca
Mariano Koen-Alonso	Nfld / Terre-Neuve	Koen-Alonsok@dfo-mpo.gc.ca
Brian Healey	Nfld / Terre-Neuve	healeybp@dfo-mpo.gc.ca
Robin Anderson	Nfld / Terre-Neuve	andersonr@dfo-mpo.gc.ca
Noel Cadigan	Nfld / Terre-Neuve	cadigann@dfo-mpo.gc.ca
Paul Cahill	Nfld / Terre-Neuve	cahillp@dfo-mpo.gc.ca
Jake Rice	Ottawa	ricej@dfo-mpo.gc.ca
Nadia Bouffard	Ottawa	bouffardn@dfo-mpo.gc.ca
Jackie King	Pacific / Pacifique	kingj@pac.dfo-mpo.gc.ca
John Holmes	Pacific / Pacifique	holmesj@ pac.dfo-mpo.gc.ca
Laura Richards	Pacific / Pacifique	richardsl@ pac.dfo-mpo.gc.ca
Alan Sinclair	Pacific / Pacifique	sinclaira@ pac.dfo-mpo.gc.ca
Allen Kronlund	Pacific / Pacifique	kronlunda@ pac.dfo-mpo.gc.ca
Angelica Pena	Pacific / Pacifique	penaa@ pac.dfo-mpo.gc.ca
Jon Schnute	Pacific / Pacifique	schnutej@ pac.dfo-mpo.gc.ca
Glen Jamieson	Pacific / Pacifique	jamiesong@ pac.dfo-mpo.gc.ca
Andrew Edwards	Pacific / Pacifique	edwardsand@ pac.dfo-mpo.gc.ca
Jake Schweigert	Pacific / Pacifique	Schweigertj@ pac.dfo-mpo.gc.ca
Daniel Duplisea	Quebec / Québec	duplisead@dfo-mpo.gc.ca

ANNEX 4 - KEY MANAGEMENT QUESTIONS FOR PRESENTERS

Management Questions for DFO National Workshop on Modelling Tools for Ecosystem Approaches to Management

Introduction

DFO Science's interest in ecosystem modelling is based in part on the contributions such modelling approaches can make to improving assessments and advice on management and policy. Fisheries management is a central consideration, but the broad Oceans perspective of integrated management of human activities in aquatic ecosystems is very much in the picture. In preparing your presentations for the workshop, we would ask you to please consider the following questions and indicate how the modelling approach addresses them. Short answers to these questions will help form a basis for discussion at the workshop.

a. How does this modelling approach incorporate the effects of physical (and chemical) forcing in the assessment of the status and dynamics of populations, species or communities?

2. How does this modelling approach incorporate species interactions (predator-prey, competition) in the assessment of the status and dynamics of populations, species or communities?

3. How does this modelling approach enable the identification of conservation objectives (and corresponding quantitative reference points) associated with:
   a. Target species of a fishery or permitted activity (viewed in an ecosystem context)
   b. Other ecosystem components and properties affected by the fishery or permitted activity?

4. How can this modelling approach be used for the development, evaluation, and implementation of harvest control rules (or rule-based management of other activities) that take account of :
   a. Environmental forcing
   c. Species interactions
   e. Implementation uncertainty

ANNEXE 4 – QUESTIONS CLÉS POUR LA GESTION POUR LES CONFÉRENCIERS

Questions sur la gestion pour l'Atelier national sur les outils de modélisation pour les approches de gestion écosystémiques

Introduction

L'intérêt que Sciences – MPO porte à la modélisation d'écosystème vient en partie de la contribution de telles approches à l'amélioration des évaluations et des avis relatifs à la gestion et aux politiques. La gestion des pêches est un élément essentiel, mais la vaste perspective qu'a Océans de la gestion intégrée des activités humaines menées dans les écosystèmes aquatiques fait aussi partie de la scène. Au moment de la préparation de votre présentation pour l'atelier, nous vous demandons de considérer les questions suivantes et d'indiquer comment votre approche de modélisation y répond. De courtes réponses serviront de point de départ des discussions.

1. Comment cette approche de modélisation incorpore-t-elle les effets du forçage physique et chimique dans l'évaluation de l'état et de la dynamique de populations, d'espèces ou de communautés?

2. Comment cette approche de modélisation incorpore-t-elle les interactions interspécifiques (prédateur-proie, compétition) dans l'évaluation de l'état et de la dynamique de populations, d'espèces ou de communautés?

3. Comment cette approche de modélisation permet-elle d'établir les objectifs de conservation (et les points de référence quantitatifs connexes) pour :
   a. les espèces ciblées par la pêche ou une activité autorisée (dans un contexte écosystémique)
   b. d'autres composantes et propriétés écosystémiques affectées par la pêche ou une activité autorisée?

4. Est-ce que cette approche de modélisation peut servir à l'élaboration, l'évaluation et l'application de règles de pêche (ou à la gestion d'autres activités centrée sur des règles) qui tiennent compte :
   b. du forçage environnemental,
   d. des interactions interspécifiques,
   f. de l'incertitude entourant l'application?

5. Can this modelling approach be used to estimate risks and likelihoods of failure to achieve management objectives for populations, species, or communities?

6. What are the model's data requirements?

7. What are the model's basic assumptions?

8. Is the model user friendly, i.e. can it be relatively easily understood and used by non-modellers? Or developed to this point?

9. What, in your view, are the main pros and cons of this specific modeling approach?

10. Are you currently using this model for management purposes? How?

5. Cette approche de modélisation peut-elle être utilisée pour estimer les risques et la vraisemblance d'échec dans l'atteinte des objectifs de gestion pour des populations, espèces ou communautés?

6. Quels sont les exigences en matière de données du modèle?

7. Quelles sont les hypothèses de base du modèle?

8. Le modèle est-il convivial, c'est-à-dire est-ce que les non-modélisateurs peuvent le comprendre et l'utiliser facilement? Ou le développer jusqu'à ce point?

9. D'après vous, quels sont les principaux avantages et désavantages de cette approche de modélisation?

10. Utilisez-vous ce modèle actuellement à des fins de gestion? Comment?

ANNEX 5 – BREAK-OUT GROUP QUESTIONS / ANNEXE 5 – QUESTIONS À RÉPONDRE EN PETITS GROUPES

Questions:

1 Is this approach usable by non-modellers? If not, please comment on whether it can be developed to this point.

2 What level of technical expertise is required to make full use of this approach? Please specify the type of expertise.

3 Would it be difficult for new users to learn this approach?

4 Are there start-up costs?

5 What are the data requirements for this approach?

6 What are the main assumptions of this approach?

7 Does this approach accommodate size/age structure? How?

8 Does this approach include species interactions?

9 What type of functional response is modelled?

10 Can this approach handle migratory species?

11 Does this approach include physical (or chemical) forcing?

12 Does this approach allow for inclusion of parameter uncertainties?

13 Is this approach portable to other ecosystems (e.g., embayments, estuaries, lakes, rivers, wetlands)?

14 Can this approach be used for spatial management?

15 Has this approach been used in management? How? Where?

16 Can this approach be used to identify operational indicators and quantitative

Questions :

1 Est-ce que les non-modélisateurs peuvent utiliser cette approche? Sinon, peuvent-ils la développer jusqu'à ce point?

2 Quel niveau de compétence technique est requis pour pouvoir pleinement utiliser cette approche? Préciser.

3 Les nouveaux utilisateurs auraient-ils de la difficulté à apprendre cette approche?

4 Y a-t-il des frais de démarrage?

5 Quelles ont les exigences en matière de données de cette approche?

6 Quelles sont les principales hypothèses de cette approche?

7 Est-ce que cette approche peut accueillir la structure par âge/par taille? Comment?

8 Est-ce que cette approche tient compte des interactions interspécifiques?

9 Quel type de réaction fonctionnelle est modélisé?

10 Est-ce que cette approche peut prendre en charge les espèces migratrices?

11 Est-ce que cette approche inclut le forçage physique (ou chimique)?

12 Est-ce que cette approche permet l'inclusion de l'incertitude entourant les paramètres?

13 Cette approche peut-elle être appliquée à d'autres écosystèmes (baies, estuaires, lacs, rivières, terres humides)?

14 Cette approche peut-elle servir à la gestion spatiale?

15 Cette approche a-t-elle été utilisée pour la gestion? Comment? Où?

16 Cette approche peut-elle être utilisée pour identifier des indicateurs opérationnels et

reference points for:

16a a target species or activity?

16b other ecosystem components and properties?

16c the pressure applied by an activity?

17 Does this approach contribute to the development, evaluation, and implementation of harvest control rules (or rule-based management) that takes account of:

17a environmental forcing?

17b species interactions?

17c implementation uncertainty?

18 Can this approach estimate risks and the likelihood of failure to achieve management objectives?

19 Can this approach operationalise and simulate a wide variety of high level objectives from a diverse group of stakeholders?

20 What are the pros, cons, and limitations of this modelling approach?

des points de référence quantitatifs pour :

16a une espèce ciblée ou une activité?

16b d'autres éléments et propriétés d'écosystème?

16c la pression exercée par une activité?

17 Est-ce que cette approche contribue à l'élaboration, à l'évaluation et à l'application de règles de pêche (ou à la gestion centrée sur des règles) qui tiennent compte :

17a du forçage environnemental?

17b des interactions interspécifiques?

17c de l'incertitude entourant l'application?

18 Cette approche permet-elle d'estimer les risques et la probabilité que les objectifs de gestion ne seront pas atteints?

19 Est-ce que cette approche peut simuler et opérationnaliser une vaste gamme des objectifs de haut niveau d'un groupe diversifié d'intervenants?

20 Quels sont les avantages, désavantages et limites de cette approche de modélisation?